ÁRAPÁLYCIKLICITÁS KIMUTATÁSA A BUDAFOKI HOMOK FORMÁCIÓBÓL OSTREA NÖVEKEDÉSI VONALAK ELEMZÉSE ALAPJÁN

Németh Alexandra

Első éves Geológia MSc szakos hallgató

Tudományos Diákköri Dolgozat

Témavezetők:

Dr. Sztanó Orsolya

egyetemi docens

Szente István

főmuzeológus

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

2011

Tartalom

1. Bevezetés 3
2. Biológiai háttér 3
3. A vonalak vastagságváltozásainak okai 6
4. Földtani háttér 9
5. A Pék utcai feltárás 14
6. Módszerek 17
7. Árapály jelenség kimutatása a héjakból 18
8. Bekérgezett szemcsék vizsgálata 25
9. Összegzés 28
10. Köszönetnyilvánítás 29
Irodalomjegyzék 30

1. Bevezetés

A szklerokronológia a dendrokronológiával rokon tudományág: élőlények által kiválasztott, időben változó minta szerint kialakuló ásványok összességét vizsgálja. Ez lehet például korallok váza (Wells, 1963), kagylók meszes héja (Clark, 2005) vagy halak hallócsontja. A vizsgálat lehet geokémiai, például izotópos klimatológiai vizsgálat a balatoni Unio kagylók héján (Barna et al, 2007), de pusztán a növekedési vonalak vastagságának változása alapján is levonhatók következtetések, ha ismerjük a változás okát, ilyen többek között Tojo et al. (1999) munkája a Seto-beltenger felső-pleisztocén vízszintjének rekonstruálására.

Dolgozatomban az utóbbi szempontból vizsgáltam Crassostrea héjakat az eggenburgi korú Budafoki Homok Formáció egy klasszikus feltárásából. Már régóta sejtették a formációról, hogy üledékképződési környezetének az árapály is része volt (Báldi, 1958, Sztanó, 1995), de az árapály jellemzőit eddig nem lehetett megállapítani az üledékből. Harzhauser et. al (2011) miocén klímára vonatkozó munkáira, Grangeré et al. (2009) recens osztrigafajok ökológiájáról szóló cikkére és (Ohno és Takenouchi (1984), Murakoshi (1995) és Tojo et al. (1999) árapály ciklicitás kimutatására irányuló szklerokronológia munkáira támaszkodva a kagylóhéjak szkenning és visszaszórt elektonmikroszkópos felvételein a növekedési vonalak változó távolságát értelmezve próbáltam ezeket megismerni.

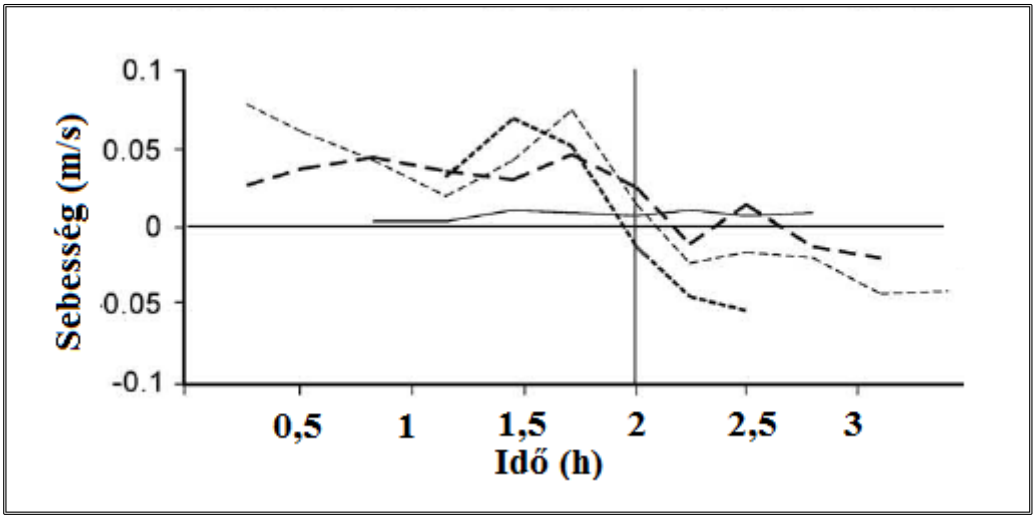
2. Biológiai háttér

Azt, hogy pontosan mire utalhat egy vastagabb vagy vékonyabb növedék illetve növekedési vonal, legjobban változó áramlású környezetben élő molluszkákkal foglalkozó tanulmányokból érthetjük meg.

Az árapály komoly változásokat okozhat a molluszkák életterében. Naponta vagy félnaponta megváltoztathatja a tengervíz tápanyagtartalmát, például azzal, hogy egy félig zárt lagúnába oxigén dús tengervizet hoz a nyílt óceánból, vagy épp a szárazföld felől sodor be szerves törmeléket a sekélytengeri környezetbe. Torkolat környezetekben a folyóvíz és a tengervíz keveredésével a sótartalom is változhat ciklikusan.

Gyakori, hogy az dagályhullám nagy áramlási sebességgel érkezik (1. ábra), ami a filtráló életmódot folytató molluszkák táplálkozását jelentősen befolyásolja. Ez a jelenség a

szubtidális zónában éreztetheti hatását. Többek között Linard et al. (2010) is kimutatta, hogy önmagában a tápanyag többlet vagy hiány is lehet kedvező vagy gátló hatással a kagylók növekedésére. Az pedig kísérletekkel bizonyított, hogy az áramlási sebesség növekedése (Wildish és Kristmanson, 1988) és a szerves törmelékfluxus növekedése (Cahalan et al. 1989) egy bizonyos pontig kedvező hatással van a kagylók növekedésére miközben az áramlás hiánya illetve a tápanyagszegény víz visszafogja azt. Viszont a kagylók lemezes kopoltyúval rendelkeznek, mely könnyen megsérülhet és eltömődhet, ezért túl nagy áramlási sebességek, illetve a túlzott trofitás is visszafoghatja a növekedést (Wildish és Kristmanson, 1988), (Cahalan et al. 1989), (Chauvaud et al. 1998).



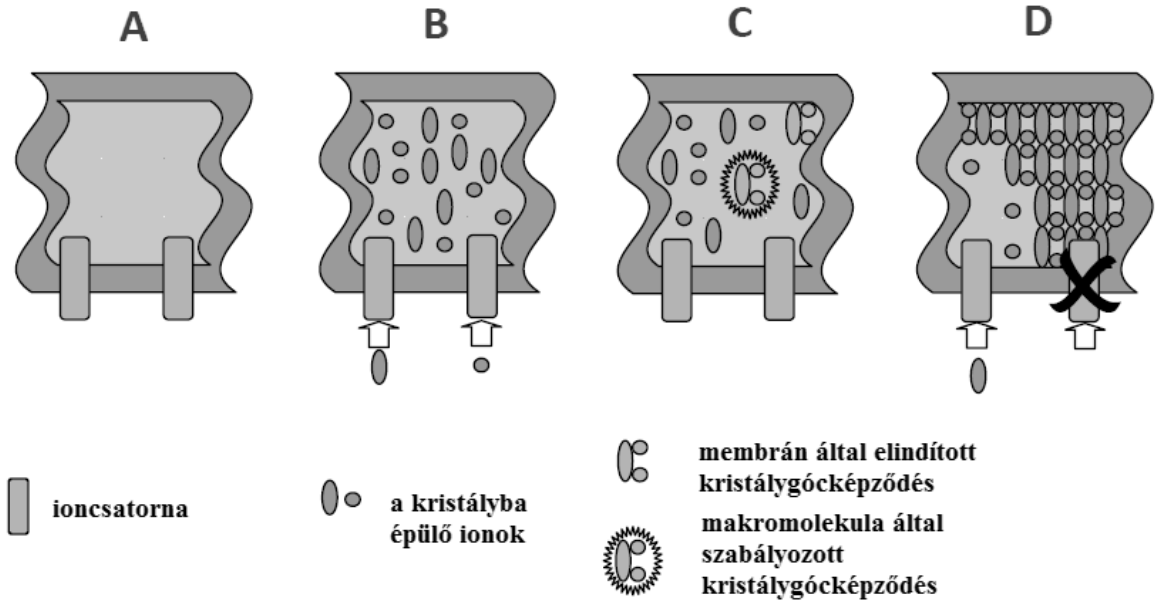
1. ábra: Fundy-öbölhöz tartozó Cumberland-medence tengerjárás keltette áramlásainak sebességprofilja: a megfigyelt dagályok érkezése előtt gyorsan kezd nőni az áramlási sebesség (Davidson-Arnott et al, 2002)

Egy partszakasz árapályciklusát az ismétlődő csillagászati jelenségek, a földrajzi helyzet, a vízmélység és a nyíltvízi kapcsolat határozza meg. Mikor a Nap, a Föld és a Hold egy vonal mentén helyezkednek el, vagyis újholdkor és teliholdkor, a Hold és a Nap által kifejtett gravitációs erők egy irányban hatnak, így szökőár alakul ki: ekkor fordulnak elő az adott területre jellemző legmagasabb dagályok és legsekélyebb apályok. Vakár az, amikor a Nap és a Hold által kifejtett gravitációs erők derékszöget zárnak be, így gyengítik egymás hatását. Félnapos (szemidiurnális) árapály alakul ki, ha naponta kétszer van dagály. Napi (diurnális) árapály alakul ki, ha naponta csak egyszer érkezik dagály, ez a rendszer a többihez képest ritka. Főleg beltengerekben és elzárt, magas szélességi körökön elhelyezkedő területeken fordul elő.

Az intertidális környezetben a molluszkák dagálykor víz alá kerülnek, apálykor pedig szárazra. Ha csak a vízből tudnak oxigént felvenni, akkor a dagály érkezéséig zárt

héjakkal, oxigén és tápanyag nélkül vegetálnak. Ezt az időt szabályozott autofágiával élik túl, azaz a szervezetükben tartalékolt szervesanyagot bontják le (Tremblay és Pellerin-Massicotte, 1997). Intertidális zónában ez után keletkeznek a növekedési vonalak, melyek magas szervesanyag tartalmú, sötét sávok a kagylóhéjakban a növekedés szüneteit, illetve azok végét jelzik (Richardson et al, 1981).

Recens példák alapján tudjuk (Matthewson, 2009), hogy a növekedési vonal szerves mátrixából indul ki a növedék kalcitprizmáinak képződése. A meszes héjat egy periosztrakum nevű szerves bevonat borítja kívülről, mely nem fosszilizálódik. A héj végénél ez lipidmembránból álló cellákat alkot, belsejükben kristálygéllel. A membrán a kagyló szervezetének részét alkotja, tehát a kagyló az összehúzásával és tágításával befolyásolhatja a cellán belüli nyomást, azaz a kristályosodás menetét (2. ábra). Az így növesztett prizmás aragonit vagy kalcit kristályokból áll a növedék. A héj növekedésének újabb szakasza mindig a növekedési vonal kiépülésével kezdődik (Matthewson, 2009).



2. ábra: A növekedési vonal mentén lezajló kristálynövesztés folyamata egy sejtben (Matthewson, 2009)

A fentiek alapján kiderül, hogy az intertidális környezetben élő kagylók növekedési vonalait az apály hozza létre, vastagságuk attól függ, hogy apálykor milyen hosszú időt töltenek szárazon. Az intetridális zónában a növedékek vastagságát a dagály magassága alakíthatja, mert a mélyebb víz, vagyis a hosszabb víz alatt eltöltött idő és a növekvő tápanyagfluxus kedvező hatással van a kagylók növekedésére. Szubtidális, azaz apálykor is

vízzel borított zónában a növedékek vastagságát az áramlási sebesség szabályozza a legvalószínűbben, de itt a túl nagy sebesség korlátozó tényező is lehet.

A Crassostreák sekély, partközeli, gyakran csökkentsós vizek bentosz élőlényei. Szesszilis életmódot folytató kagylók, cementációval egy adott helyre rögzítik magukat a mederben, olykor tömegesen „ostrea-zátonyokat", biosztrómokat is alkotnak. Szubtidális és intertidális környezetben egyaránt előfordulhatnak. A Crassostreák esztuárium kedvelők, szívesen telepednek meg esztuáriumokban, ahol jelentősen változik a vízminőség. Apály idején a folyóvízi üledékbehordás miatt megnőhet a lebegtetett szemcsék aránya, vagyis a törmelékfluxus, dagálykor pedig a tisztább tengervíz nyomul be a torkolatba. Ez is úgy befolyásolhatja a környezetüket, hogy változást okozzon a növekedésben.

A kagylók héjából olykor az árapályciklustól független szezonális változások is kimutathatóak: a növekedésükön főleg az arktikus és mérsékelt övi környezetekben a hőmérséklet évi járása is nyomot hagy (Butler et al., 2010), valamint a fajra jellemző szaporodási szokások is okozhatnak szezonális eltéréseket.

A miocén elején, a burdigáliai korban klíma optimum állt fenn, ez a Paratethysben élő Crassostreák növekedési ütemére kedvező hatással volt. A telek enyhék (maximum 17 °C) a nyarak melegek (körülbelül 27°C) voltak, a csapadék feltehetően nyáron érkezett (Harzhauser et al., 2011).

Egy esztuáriumi környezetben a hőmérséklet és a csapadék alakulása különféleképpen befolyásolhatja a Crassostreák életkörülményeit. Az év csapadékosabb részében nagyobb a szárazföldi lefolyás, tehát több tápanyag kerül az esztuárium vizébe: a kagylók növekedésére ez bizonyítottan kedvező hatással van (Gangeré et al., 2009). Ha a hőmérséklet 28°C fölé emelkedik (Hong et al., 1995) vagy 10-11 °C alá csökken (Surge et al., 2001) a héj növekedése jelentősen lelassul.

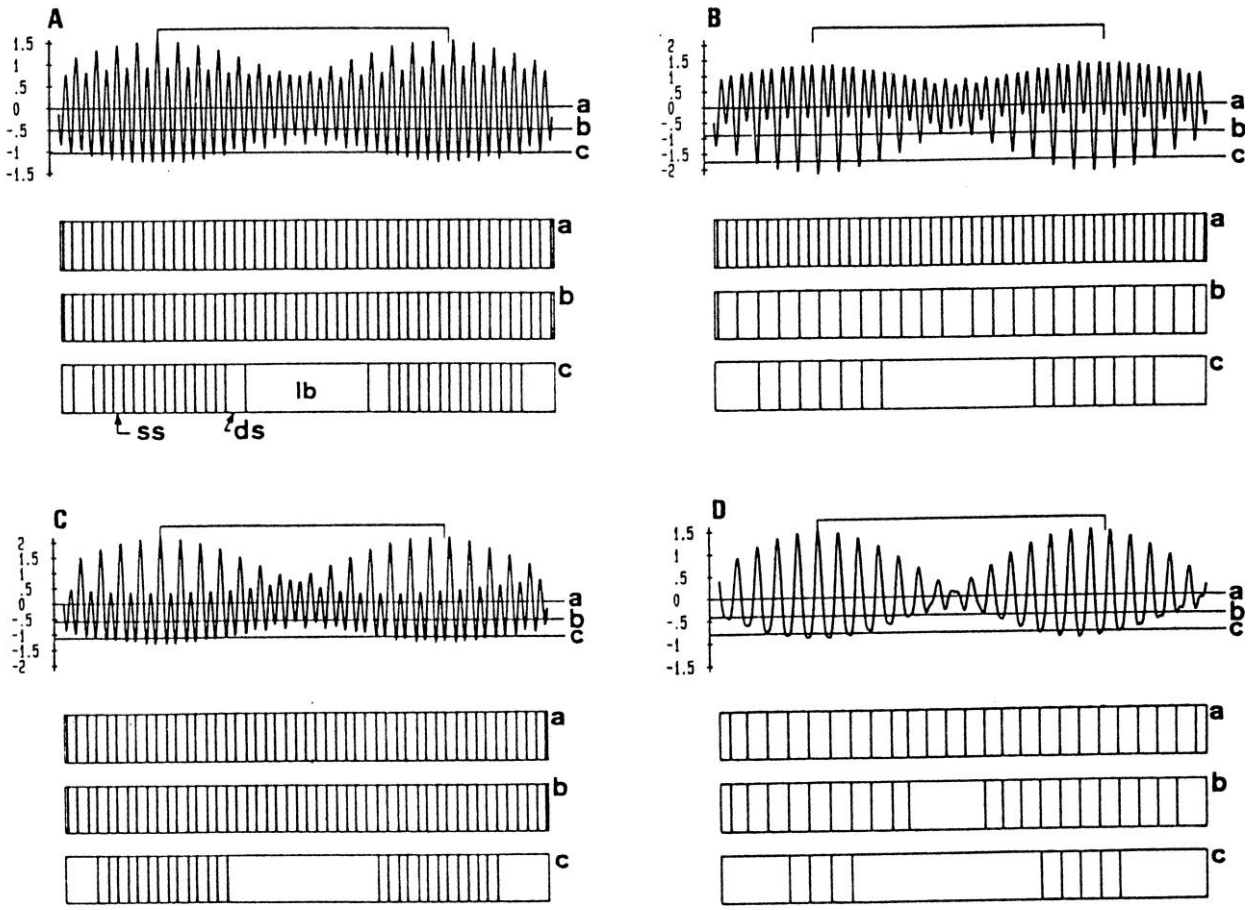
3. A vonalak vastagságváltozásainak okai

A legegyszerűbben az utalhat árapály által befolyásolt élőhelyre, ha körülbelül 28 (szemidiurnális, azaz félnapi árapály esetén) vagy 14 (diurnális, azaz napi árapály esetén) növekedési vonalanként nő majd csökken a vonalak közötti távolság. A változás oka a szökőárak és vakárak váltakozásából adódik. Ezt a fajta ciklicitást molluszka héjakból már

Ohno és Takenouchi (1984), Murakoshi (1995), Tojo et al. (1999) és Clark (2005) is kimutatta.

Ohno és Takenouchi (1984) szerint minden növedék vastagsága egyenesen arányos a keletkezésekor víz alatt töltött idővel. Félnaponta érkező, nem egyenlően magas dagályok esetén a vékonyabb és vastagabb növekedési vonalak váltakozása figyelhető meg. A sorrendjük a holdhónap felénél felcserélődik. A növekedési vonalak vastagsága ezzel szemben a nappalok és éjszakák miatt váltakozik félnaponta, a holdhónap felénél szintén felcserélődik a sorrendjük.

Az intertidális zónában élő molluszkák növekedési vonalai nem csak a különböző árapályciklusok miatt sajátosak, hanem annak függvényében is más mintában jelenhetnek meg, hogy a zóna magasabb vagy alacsonyabb részén éltek-e a példányok. Murakoshi (1995) ábrája alapján (3. ábra) a következő helyzetek állhatnak fenn a dagály és apály szintjének napi és félhavi változásaiból adódóan:



3. ábra növekedési vonalak megjelenésének modellje kagylókban, eltérő árapályrezsimű területeken (A szemidiurnális, B kevert, erős napi egyenlőtlenséggel, C kevert, kis napi egyenlőtlenséggel és D diurnális) az árapályzónákon belül is eltérő magasságban elhelyezkedő (a, felső , b, középső és c, alsó) részeken (Murakoshi, 1995)

Szemidiurnális árapályciklus esetén az árapályzóna alján élő kagylók vakárkor végig víz alatt maradnak, szökőárkor félnaponta kerülnek felszínre. A zóna felső részén élő kagylók héjában (3. ábra, A, „a" sáv) az összes apály nyomot hagyhat a ciklus során. A zóna alsó részén napi egyenlőtlenség miatt előfordulhat, hogy dupla vastag növekedési vonal jelenik meg a szimpla vonalak mellett, mert a napi apályok egyike nem elég sekély.

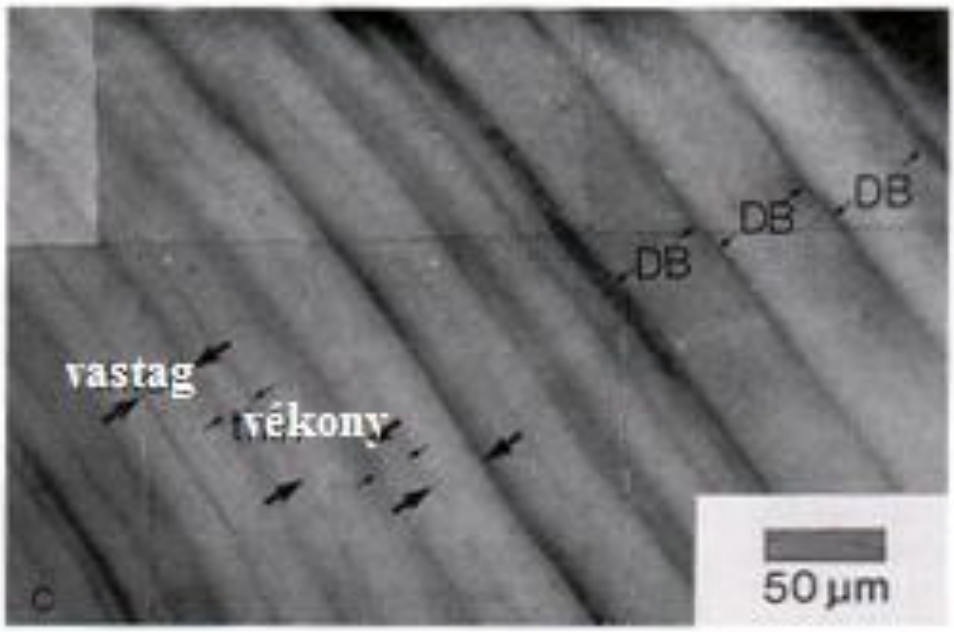
Amikor kevert napi árapályciklus, erőteljes napi egyenlőtlenséggel az apályok szintjén áll fent (3. ábra, B) az egyik apály elhanyagolható az intertidális zóna magasabb részein élő kagylók szempontjából, ez pedig teljesen megkülönböztethetetlenné teszi a napi árapályciklus (3. ábra, D) feltételezett növekedési vonalaitól.

Kevert napi árapályciklus esetén (3. ábra, C), ahol a napi egyenlőtlenség a dagályok szintjében mutatkozik meg, az árapályzóna alsó és felső részén élő kagylók szintén ki vannak téve a napi egyenlőtlenség havi ingadozásának.

A 3. ábra alapján látható, hogy még ha fel is tudjuk ismerni az összes vonalat és ki tudjuk mutatni a 14-es vagy 28-as ciklicitást (ami egy fosszilis mintánál nem biztos, hogy véghezvihető), egy kagylóhéj vizsgálata alapján nehéz megismerni egy adott terület árapályrezsimjét a 3. ábrán megjelenített probléma miatt. Szerencsére a valódi minták nem ilyen szabályosak: a Murakoshi (1995) a vizsgált felső-pleisztocén *Potamocorbula amurensis* példány héjának részletéből két fontos dolgot is megfigyelt (4. ábra):

A napi egyenlőtlenség a dagályok szintje között úgy jelenik meg a héjon, hogy vékonyabb és vastagabb növedékek váltakoznak a magasabb és az alacsonyabb dagálynak megfelelően (4. ábra bal oldala). Egy magasabb dagály azt jelenti, hogy az ideje alatt nagyobb áramlási sebességek fognak előfordulni, tehát több táplálék és oxigéndúsabb víz juthat el a kagylóhoz.

A két apály szintjében megjelenő napi egyenlőtlenség Murakoshi (1995) szerint úgy jelenhet meg, hogy élesebben kirajzolódó növekedési vonalak között egy-egy halványabb van, ami teljesen el is tűnhet (4. ábra jobb oldalán), ilyenkor dupla növedék jelenik meg. Ez a 3. ábrán is megjelenített eset, ami az árapályzóna alsó részén élő kagylók héjában fordulhat elő azért, mert a félhavi ciklusokban változó napi egyenlőtlenség miatt a holdhónap során az egyik apály szintje olyakor nem elég alacsony, hogy a kagyló huzamosabb ideig szárazra kerüljön, ezért ilyenkor nem jelenik meg növekedési vonal. A vastag, sötét és a vékony halvány vonalak, vagyis a szimpla és dupla növedékek átmenete a 4. ábrán a napi egyenlőtlenség félhavi változására mutat.



4. ábra dupla („DB") és szimpla növedékek a Potamocorbula amurensis héjában (Murakoshi, 1995)

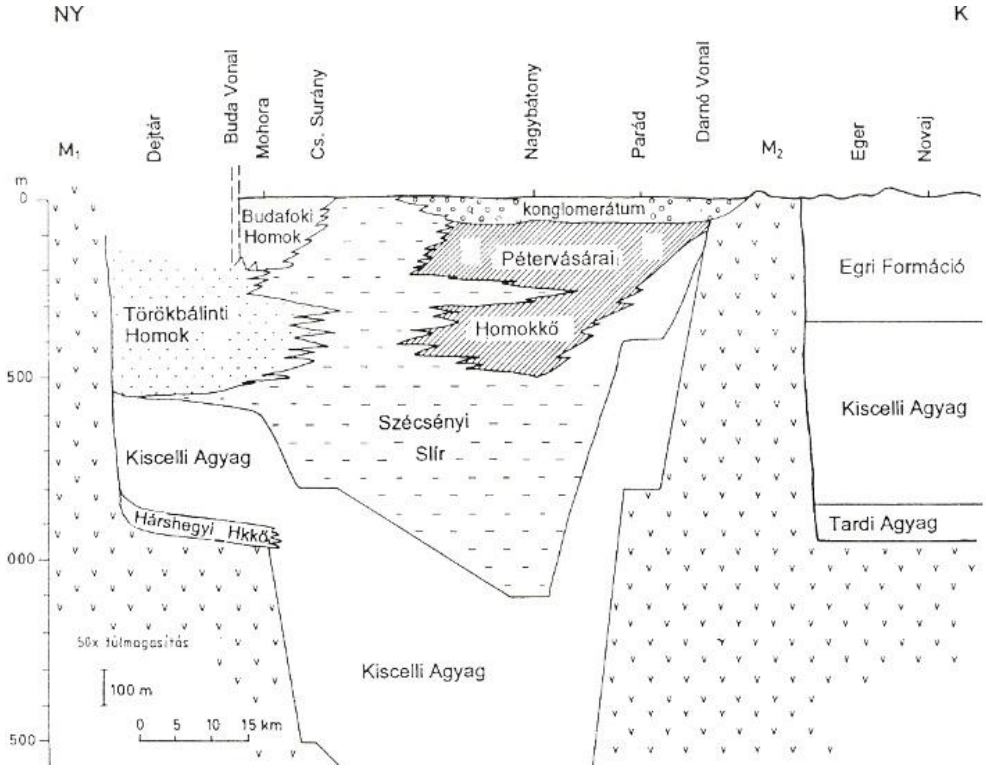
4. Földtani háttér

Különböző ősmaradvány csoportok vizsgálata szerint a Paratethys története az oligocén elején kezdődött, amikor a medence elgátolódott a Mediterráneumtól. Hazánkban a Paleogén medence üledékeiben találjuk a Paratethys nyomát. Ez egy olyan részmedenceként működött, mely a Budai vonaltól keletre, Szlovákia déli részéig felnyúlva terült el és gyakran elzáródott a Paratethys többi részétől. A medence kiterjedését a benne lerakódott Tardi Agyag, Kiscelli Agyag, Szécsényi Slír Formációk, valamint a peremeken lerakott homokos üledékek, így nyugaton a Törökbálinti és Budafoki, míg keleten az Egri és Pétervásárai Formációk jelzik (Báldi, 1980).

Az egyik legnépszerűbb szerkezeti magyarázat szerint a Paleogén-medencét oldaleltolódás miatt fellépő extenzió alakította ki a Balaton és a Budai tektonikai vonalak mentén (Csontos et al. 1992). Az oldaleltolódás oka az Eurázsiai és Afrikai lemez kollíziója, és az Alcapa egységre gyakorolt kompressziójuk miatt keletkezett kiszökési szerkezet volt (Kázmér és Kovács, 1985). Az Alcapa egység folyamatosan északkelet felé mozgott, de nem minden része haladt ugyanolyan sebességgel, így jöttek létre az oldaleltolódások. A medence történetét Báldi (1980) három szakaszra osztotta az

üledékképződés gyorsasága és az ezt befolyásoló tektonikai és klimatikus változások figyelembevételével.

Az első szakaszt a Tardi Agyag lassú leülepedésében határozta meg. A Tardi Agyag valójában olyan laminitekhez hasonlít, amelyek a mai Fekete-tengerben ülepednek le. A Paleogén-medence elzáródása és az áramlások hiánya ugyanúgy anoxiát okoznak, mint a Fekete-tengerre ható mai folyamatok. Az oligocén eleje egy globálisan regresszív időszak volt és az Alpok kiemelkedése nem volt még olyan gyors ütemű, hogy elég relief energiát biztosítson durvább szemcséjű üledékek lerakódásához a medencében (Báldi 1986).

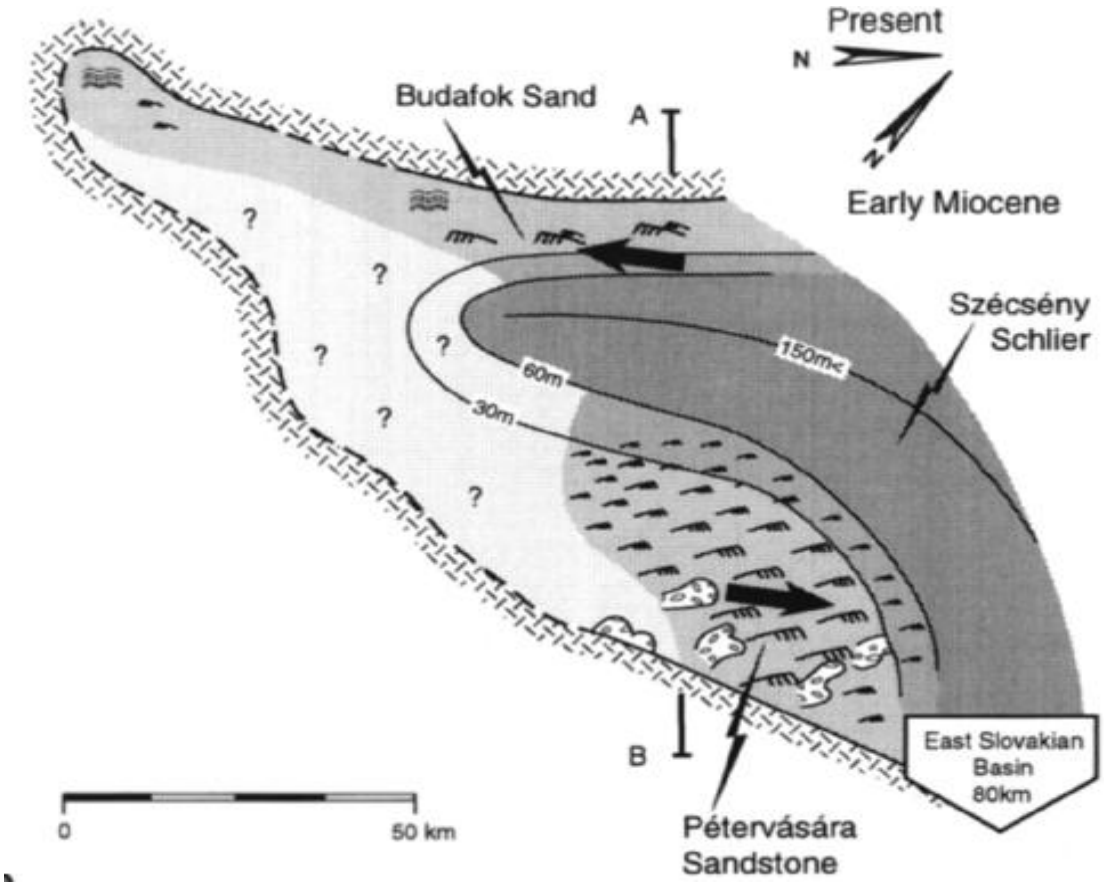


5. ábra: Báldi (1997) keresztszelvénye az Északmagyarországi Paleogén medencében előforduló formációkról.

A Kiscelli Agyag megjelenése a második szakasz kezdete. A medence kiszélesedett, ezért a Kiscelli Agyag sokkal gyorsabban képződött, mint a Tardi Agyag, a medencék peremén pedig durvább üledékek jelentek meg, mint a Hárshegyi Homokkő Formáció. Kavicsos megjelenése is jelzi, hogy a lepusztulás és üledékbehordás mértéke megnőtt. A formáció szárazföldi üledékekre is települt, vagyis transzgresszív módon rakódott le. Az oligocén második felében globális, transzgresszió állt fenn. Csontos et al. (1992) szerint a késő-oligocén, kora-miocén idején haladt az Alcapa a legintenzívebben északkelet felé, tehát a medencét létrehozó nyíróerők is javában működtek, a medence

ezért mélyült a folyamatos üledékbehordás ellenére is. A Szécsényi Slír a második szakaszban, az egriben kezdett el lerakódni. Maga a slír a Kiscelli Agyagnál több homokot tartalmazó, sekély-batiális formáció. Elterjedése alapján az Észak-Magyarországi-medence északkelet felé mélyült és szélesedett, délen egy sekély öböllé szűkült. Nyugati partján, a Budai vonalat is átlépve a Törökbálinti Homokkő volt a slír sekélyvízi heteropikus fáciese, a keleti part mentén pedig a Pétervásárai Homokkő (Báldi, 1980).

A harmadik szakaszban, amely a miocén eggenburgi idején vette kezdetét, a Keleti-Alpok és a Kárpátok izosztatikus emelkedése felgyorsult. Az üledékbehordás nagy mértéke miatt a globális transzgresszió ellenére is, amely a Szécsényi Slír egy szakaszán, a Budafoki Homok ülepedése előtt még látszik, egy egyensúlyi, aggradációs időszak után már regressziósan települnek a Paleogén medence peremi üledékei (Sztanó és Tari, 1993). A Szécsényi Slír felső határa a medence különböző részein máshogy alakul: nyugaton a Budafoki Homok helyettesítette és települt a fedőjébe, keleten a Pétervásárai Homokkő. Szécsény környékén a slír az eggenburgiban még végig megvan, hiszen a medence északkelet felé mélyült: itt a slír fokozatos elhomokosodását figyelte meg Báldi (1997), a



6. ábra: Az Észak-Magyarországi-medence bathimetriája és áramlási viszonyai (Sztanó, 1994)

Sajó völgyben pedig azt, hogy a Zagyvapálfalvai Formáció kőszéncsíkos folyóvízi konglomerátumként közvetlenül a slírre rakódott.

Tehát Budafok környéke az eggenburgiban egy feltöltődő, de északkeleten még sekély-batiális mélységű medence sekély, déli öble volt.

Sztanó (1995) a keresztrétegzett Pétervásárai Homokkő Formáció mellső lemez-vastagságait megfigyelve a keleti partot árapály uralta környezetként írta le, a rétegvastagságok váltakozása alapján félnapi árapályciklust figyelt meg erős napi egyenlőtlenséggel. Az üledékszállítási irány a keleti part mentén északkeletinek bizonyult (Sztanó, 1995), a nyugati part mentén, a Budafoki formáció üledékszerkezetei déli szállítási irányra utalnak. Az árapályhullám északkeleti irányból, a Keleti-Paratethys medencéjéből érkezhetett az Észak-Magyarországi-medencébe, ahol a medence hosszú, sekély alakjából fakadó kioltás miatt az áramlás az óramutató járásával ellentétes kört írt le: a nyugati part mentén haladt déli irányba, a keleti part mentén pedig vissza, észak felé (Sztanó, 1995). A modell szerint tehát a nyugati part is ki lehetett téve az árapály hatásának (6. ábra). Ezt már Báldi (1958) is feltételezte a Budafoki Homokban, a Pacsirta-hegyen megfigyelt homok és pélit lemezek váltakozásából, ezt a mai Watt-tenger partjához hasonló, intertidális iszapsíkság üledékének tartotta. Ezenkívül kifejezetten áramláskedvelő molluszka fajokat (Pecten,, Anomia, Chlamys, Glycymeris, Mytilus, Ancilla, Monodonta, Ostrea) azonosított a homokban, egyes részein pedig nagyléptékű keresztrétegzést figyelt meg.

A Budafoki Homokot két fő részre különíti el Báldi (1997), egy alsó, pectenes-anomiás és egy felső, crassostreás-balanusos szintre.

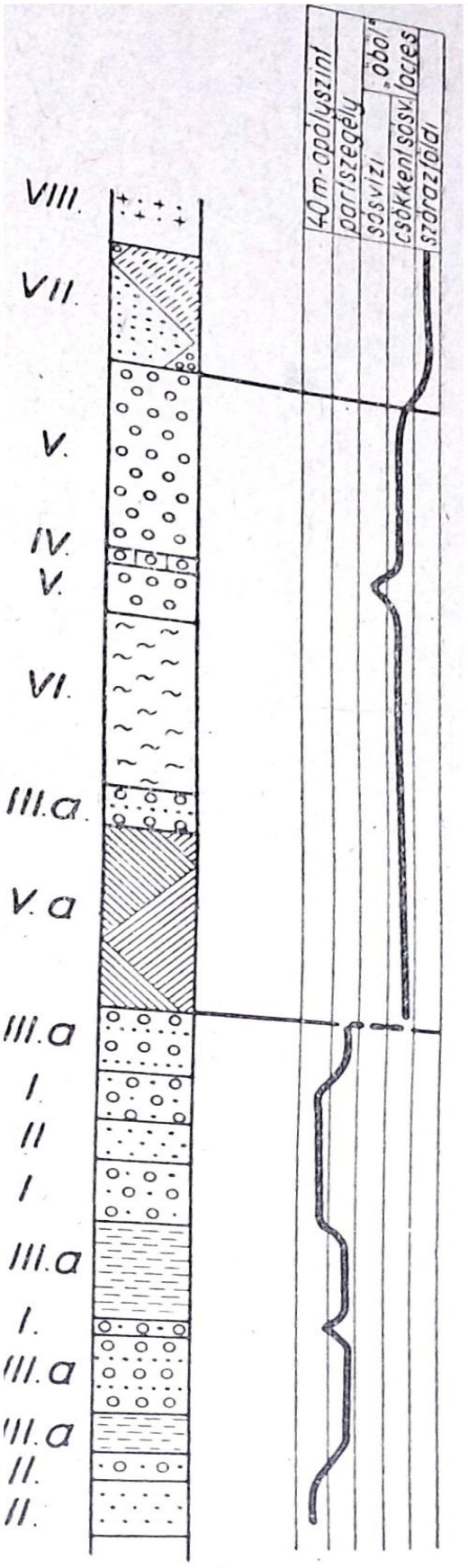
A fauna alapján a homok alsó része sekélytengeri, normálsós környezetben keletkezett. Ez a rész tovább tagolható. Vannak erős vízmozgás mellett lerakódott, rétegzetlen, csillámos, durvahomokos egységek, ahol a héjak szállítás után kerültek az üledékbe. Itt a korábban felsorolt, áramláskedvelő fajok jelennek meg. A becsült vízmélység a 30-40 métert is elérhette. (7. ábra: I. rétegek) Gyenge vízmozgásra utaló egységek is előfordulnak, mészkonkréciós finomhomokban ásókagyló faunával (Báldi, 1958) (7. ábra: II. rétegek).

A homok felső része változó sótartalmú környezetben keletkezett: itt Balanus padok jelennek meg a kavicsos homokban a normálsós környezetben (7. ábra: IV. rétegek) a félsós, esztuáriumi környezetben pedig crassostreák (Báldi, 1958) (7. ábra V.réetegek).

A teljes formációra jellemzőek a vékony, konglomerátum rétegek: ezek nagy, lekerekített, 10-15 centiméteres átmérőjű kavicsokból állnak. A kavicsok anyaga lehet gneisz, lídit, kvarc, gránit, tűzkő, kalcedon és andezit. Ez Báldi (1958) szerint a partszegélyt jelezheti.

A homokban a kvarc mellett gyakran van csillám és gránát. Báldi (1997) szerint a Budafoki Homok anyaga a Veporidákból érkezett, ahol üledékes eredetű metamorf kőzetek és gneisz is előfordul.

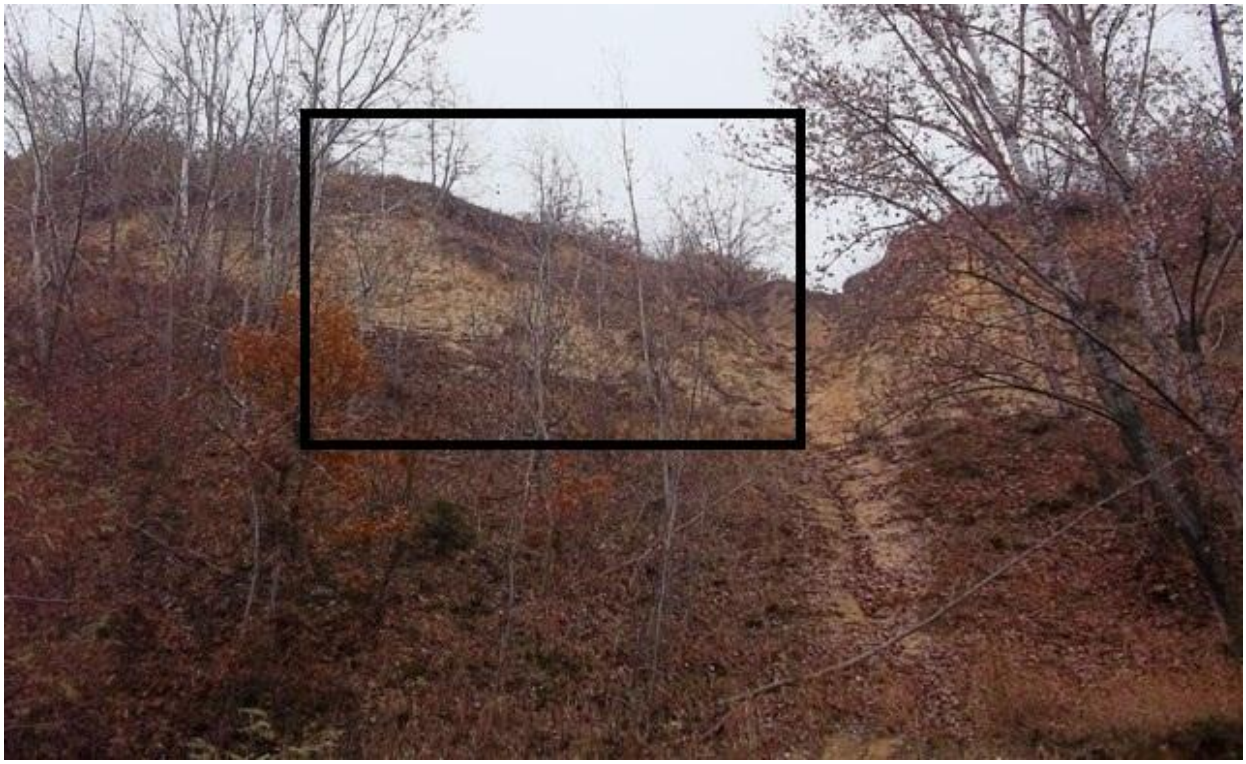
Az eggenburgi-ottnangi határt az alsó-riolittufa (Gyulakeszi Riolittufa) jelenti, ez alkotja néhol a Budafoki Homok fedőjét. Északon a homok a Zagyvapálvalvai Formáció kavicsába megy át.



7. ábra: A Budafoki Homok Formáció Kereszt- és Sas-hegyi szelvénye. Pectenes, Ostreás kavicsos homok I., Mészkonkréciós finomhomok, Pitar, Solen faunával II., ősmaradványmentes finomokok, kavicsos homok III. a, növénylenyomatos, rétegzett finom szemcsés homok III. b, Balanusos homok, konglomerátum IV., Homok, kavics közbetelepült agyagban Crassotrea padokkal V., Keresztrétegzett durvahomok allochton Crassostrea teknőkkel V. a, Szürke, foraminiferás márga VI., Szárazföldi agyag, keresztrétegzett homok kovásodott fatörzsekkel VII., VIII. Riolittufa (Báldi, 1958)

5. A Pék utcai feltárás

Budafokon van egy észak, vagyis a Kőér-patak völgye felé néző feltárása a Budafoki Homoknak. A terület nagy részét már beépítették, de a Pék utca végét jelentő



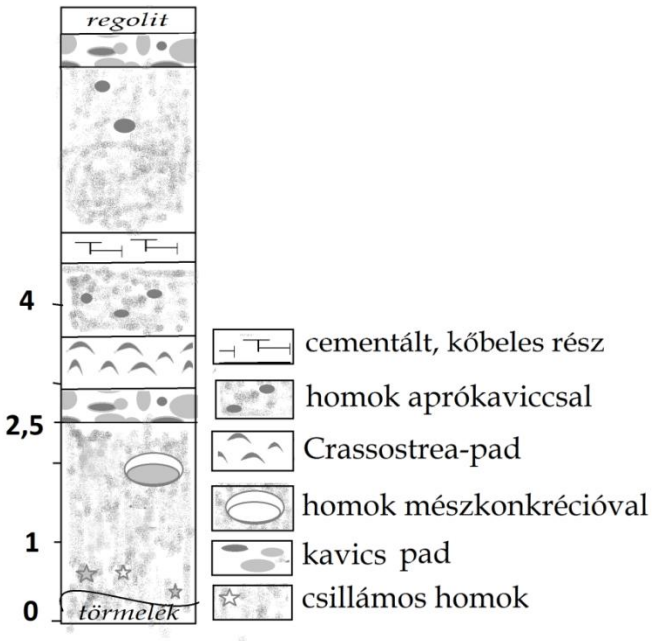
8. ábra: A feltárás a Pék utca felől

meredek homokfal, ahol régen bánya működött, érintetlen maradt.

A lejtő felső nyolc-tíz méterén bukkant ki a formáció, az alsó részt törmelék és növényzet takarja.

Alulról fölfelé ősmaradvány nélküli csillámos homok, mészkonkréciós homok, konglomerátum pad, crassostrea pad és aprókavicsos homok követi egymást. A feltárás tetejét egy olyan kavicsréteg zárja, mely körülbelül egy méter vastag, 1-2 centiméteres kavicsokból áll.

A konglomerátum pad kavicsai között sok ököl nagyságú is akadt, de mindenképp öt



9. ábra: A feltárás szelvénye

centiméternél hosszabb az „a” tengelyük. Anyaguk Báldi 1958-as tanulmányának megfelelően gneisz, lídit, kvarcit és kova, a pad vastagsága pedig ugyanúgy 10-15 centiméter.

11. ábra: *Crassostrea gryphoides* (Schloth) a Budafoki Homok Formációból

10. ábra: *Balanus concavus* a Budafoki Homok Formációból

A feltárás jobb oldalában, a lejtőtörmelékben, a crassostrea-padnál magasabban egy pecten héjat is találtam.

A Crassostrea pad néhány centiméterrel kezdődik a konglomerátum fölött, vastagsága a példányok vastagságának felelhet meg, mert nem találtam egymásra halmozott héjakat. A héjak nem jó megtartásúak: kiemelés közben összetörtek (10. ábra). A begyűjtött héjakat mind konvex helyzetben figyeltem meg. Van, amelynek a belső felületére Balanus cementálódott, de a Balanusok a héjak között is előfordulnak (11. ábra), ezen kívül elszórtan, a pad fölötti kavicsos homokban is. Találtam olyan ostrea héjat is, amelynek belsejében aprókavics volt.

A Crassostrea-Balanus együttes alapján Báldi (1958) szelvényén ez a feltárás Budafoki Homok felső részében van, de még a riolittufa alatt helyezkedik el, tehát mindenképpen eggenburgi korú. A mészkonkréciós homok és a konglomerátum pad egymásra következése alapján az osztrigák a part közelében élhettek.

A fentiek és Báldi (1958) cikke alapján ez a pad egy Crassostrea biosztróm lehetett, a Crasosstreák ökológiai tulajdonságait ismerve valószínűleg egy esztuáriumi környezetben. A héjak egy része rövid áthalmozódást szenvedhetett. A Balanusok arra utalnak, hogy egy idő után az esztuárium megszűnt és újra normálsós tengeri környezet következett. Az, hogy a Balanusok a héjak felületén (még a belsőn is) rögzíthették

magukat azt jelenti, hogy ez a változás elég gyorsan zajlott, hogy még ne fedje be üledék a „zátonyt”.

A Crassostreák esztuárium-kedvelők, de emellett szubtidális és intertidális környezetben is előfordulnak. Ezért úgy gondoltam, többet tudhatnánk meg a környezetről a héjak szklerokronológiai vizsgálatával.

6. Módszerek

Szente István tanácsára a kagylók „ligamentum árkából”, tehát a héj egy olyan részéből, ahol hajdan a ligamentum, vagyis a záróizom tapadt meg, gyűjtöttem nyolc példányt. Ezek a héjrészek azért könnyítik meg a növekedési vonalak vizsgálatát, mert a zárszerkezetnél a növekedési vonalak párhuzamosak egymással, nem kell a domborodó héj torzításával számolni. Ezen kívül az előzetesen olvasott irodalom, Fang et al. (2011) szerint is az Ostrea héjon itt őrződik meg legjobban a növekedési vonalak és kalcitprizmák váltakozó szerkezete.

A ventrális síkkal párhuzamosan síkfelületeket csiszoltam rájuk 100-1000-es (1/mm) finomságú csiszolóporokkal. Négy mintát étetés nélkül hagytam (ezen kívül a pekten héjat is), négy mintát pedig 37%-os töménységű sósavba raktam fél percre. Mindkét csoportban volt egy-egy olyan minta, amelyet nem csiszoltam teljesen síkra, hanem meghagytam a „ligamentum-árok” közepén húzódó bemélyedést.

12. ábra: csiszolt, szénnel bevont ligamentum, közepén meghagyott mélyedéssel

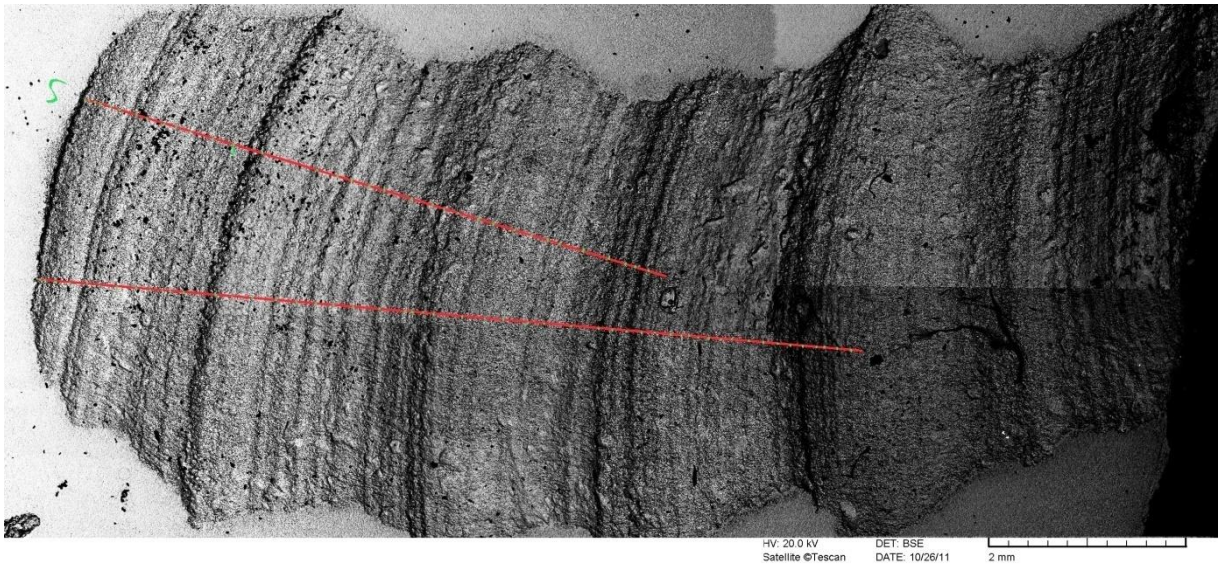
Szénnel bevonva *AMRAY*-1830 I/T6 típusú elektronmikroszkópban, 10^{-5} mbar-os vákuumban, 20 kV-s gyorsítófeszültséggel, 200-300-szoros nagyítással figyeltem meg a növekedési vonalak visszaszórt elektronmikroszkópos felvételét. A héjakba bekérgezett ásványszemcsék és kőzetszemcsék anyagi összetételét energiadiszperzív röntgenspektrométerrel állapítottam meg.

A vonalak közötti távolságot Gimp képszerkesztő programmal pixelekben mértem meg. Az így nyert adatokat a Microsoft Excel (2007) programban rendeztem.

7. Árapály jelenség kimutatása a héjakból

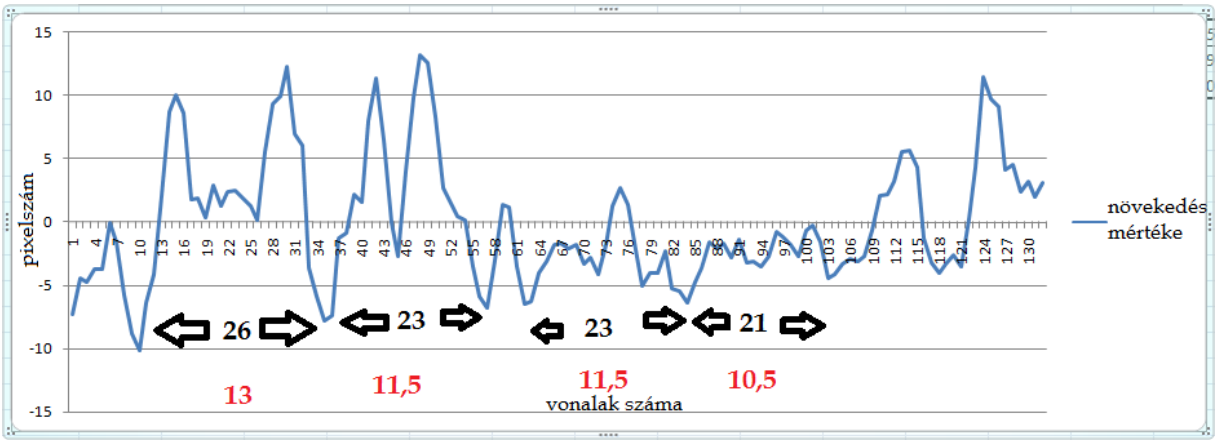
A nem étetett csoportból a növekedési vonalak csak a Pecten héjon és azon a „ligamentum-árkon” látszódtak, amelynek a középvonala mentén meghagytam a bemélyedést. A csiszolás homogenizálta a növekedési vonalakat a növedékekkel, így csak a mélyedésben megmaradt vonalak morfológiája látszódhatott a pásztázó elektronmikroszkópos felvételen.

A visszaszórt elektron felvétel nem mutatott ki különbséget a vonalak anyagi minősége között a csiszolt felületeken. A növekedési vonalak magasabb szervesanyag tartalmuk miatt tűnhettek volna ki, de ez a fosszilizálódás során teljesen vagy részben eltávozhatott. Ezen kívül az is nehezíti a szerves anyag detektálását, hogy az energiadiszperzív röntgenspektrométerben használt berillium ablak miatt a könnyűelemek detektálhatósága gyenge.



13. ábra: nem étetett minta megmaradt mélyedésének panorámaképpé illesztett visszaszórt elektronos felvétele, a vonalvastagságok mérése a vonalakra merőlegesen, a piros egyenesek mentén történt. Az aránymérték 2 mm.

Az egyetlen nem étetett minta tehát, amin vonalakat lehet megfigyelni a „ligamentum-árok” hosszú, középső mélyedését jelenti (13. ábra). A vonalakon kívül mélyedések és domborulatok látszódnak: két domborulat-csúcs között tizenkét vonal van átlagosan. A vonalak a domborulatokon sűrűsödnek, közöttük ritkulnak. Az alsó egyenes mentén mért vonalvastagságokat úgy mértem meg, hogy a vonalcsúcstól a mélyedésig, a mélyedéstől vonalcsúcsig jegyeztem fel az adatokat, hogy minél több részlet kiderüljön.

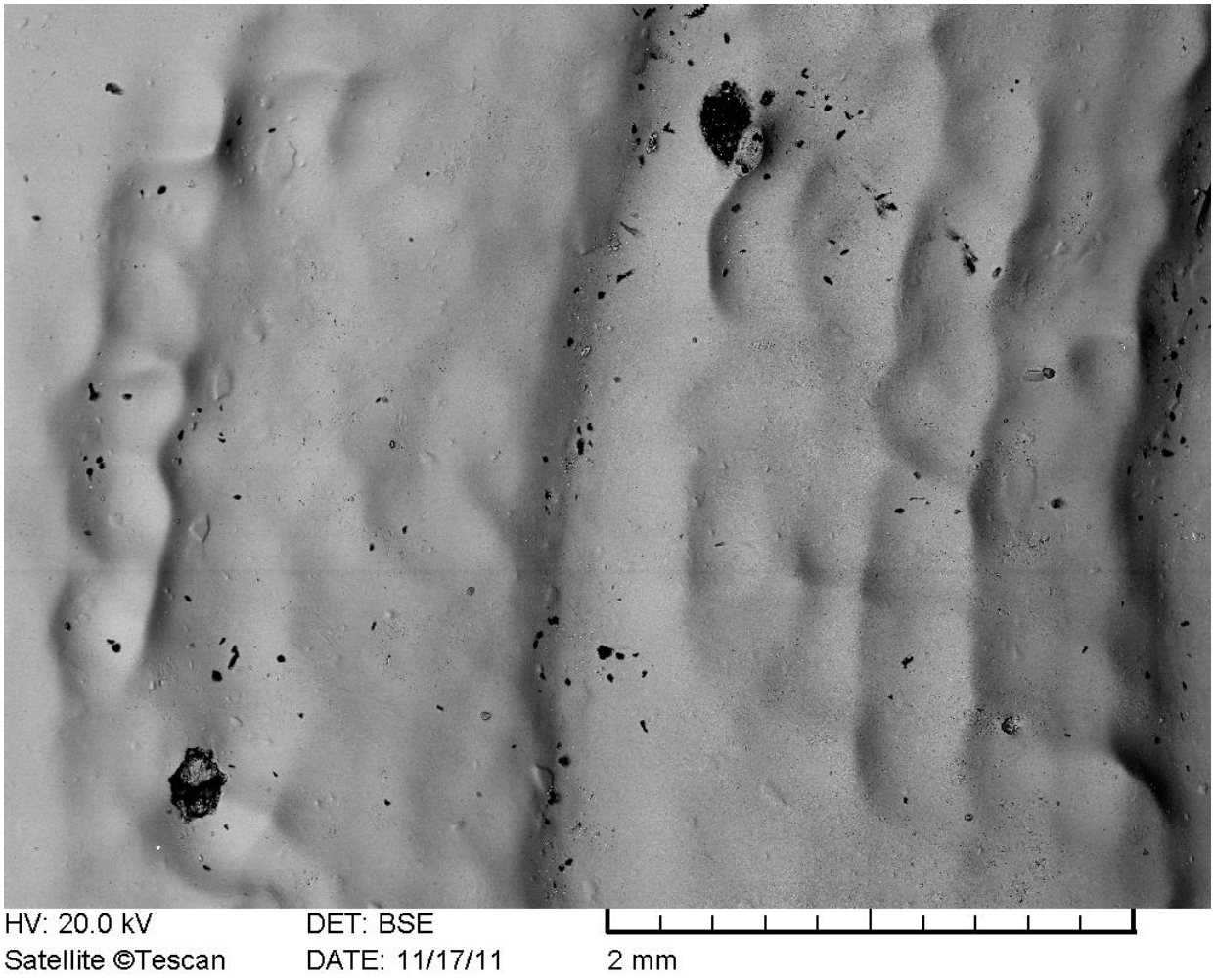


14. ábra: a ligamentum árok mélyedésében megfigyelt vonalvastagságok változása

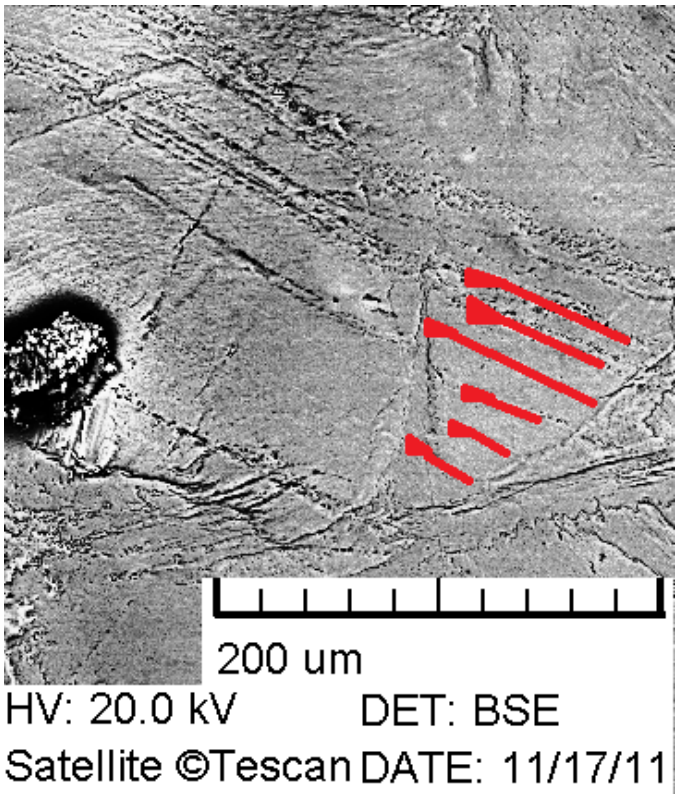
Négy, 10,5 és 13 vonal között változó hosszúságú periódust kaptam, a negatív csúcsok egybeesnek a domborulatokkal.

Az étetett csoportban a hasonló, meghagyott mélyedéssel rendelkező mintán ezek a vonalak teljesen elmosódtak (15. ábra).

15. ábra: a ligamentum árok középső mélyedése étetett mintán

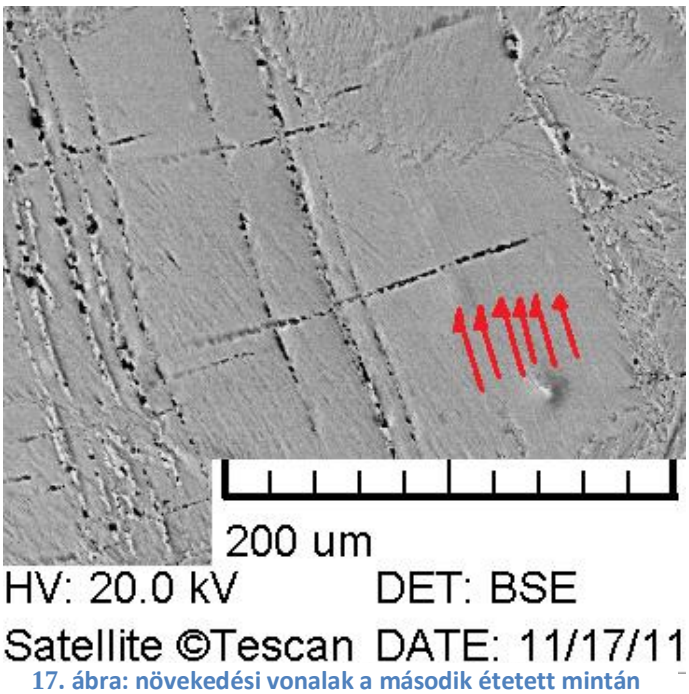


Az étetett csoportban három olyan minta is volt, ahol a síkra csiszolt felületen vonalak látszódtak. Az első két felvétel két eltérő mintáról készült (16. és 17. ábrák), a maradék négy egy minta, különböző szakaszairól.



16. ábra: növekedési vonalak figyelhetőek meg az első étetett mintán

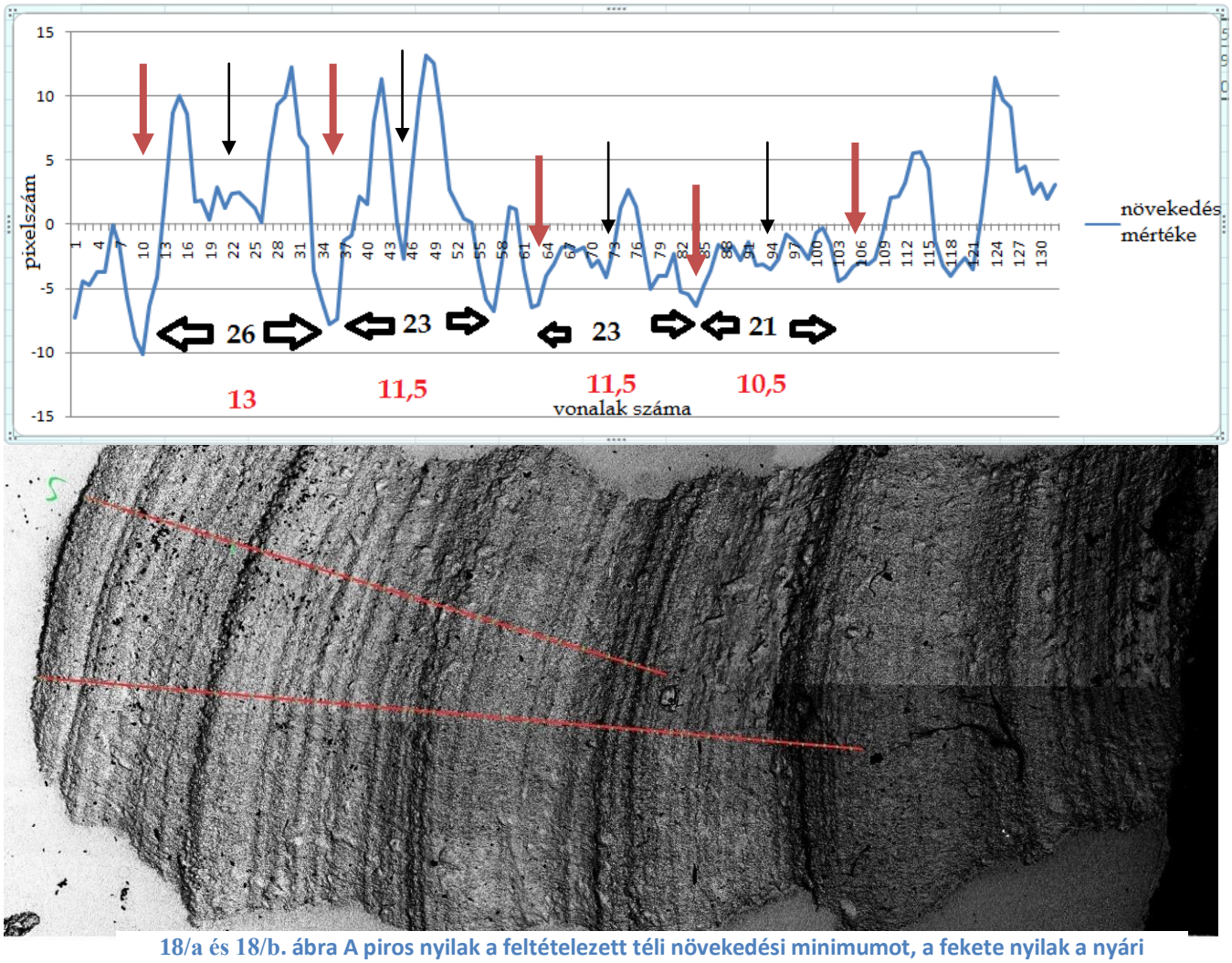
Az aránymértékek összehasonlításából kiderül, hogy a legelső minta vonalai túlságosan vastagok ahhoz, hogy igazi növekedési vonalak vagy növedékek legyenek. Bár ismert, hogy például egy Pecten 300 mikrométernyit, azaz 0,3 millimétert is növekedhet egyetlen nap alatt (Clark, 2005) a másik két minta 10-30 mikrométeres növedékei alapján a vonalak váltakozása valamilyen nagyobb léptékű folyamatra utal. Ha feltételezzük, hogy a Crassostreák minden nap legalább egy 10 mikrométeres növedékkel gyarapodtak, akkor az egymástól 100-300 mikrométer távolságra megjelenő vonalakat magyarázhatjuk valamilyen havonta vagy félhavonta ismétlődő jelenség eredményeként. Ha havonta ismétlődő jelenséget feltételezünk, akkor a domborulatok csúcsai között előforduló 11-13 vonal azt jelenti, hogy két domborulat között egy év telt el.



17. ábra: növekedési vonalak a második étetett mintán

Az, hogy a domborulatokon sűrűsödni látszanak a vonalak, azt jelentheti, hogy a példány egy hónap vagy fél hónap alatt

kevesebbet nőtt, tehát valamilyen kedvezőtlen körülmény hatott a környezetében. Mivel a miocén elején az Alcapa már körülbelül a mai Adria szélességén helyezkedett el, valószínűnek tartom, hogy ez a körülmény a hűvös, száraz tél lehetett Harzhauser et al. (2011) alapján.



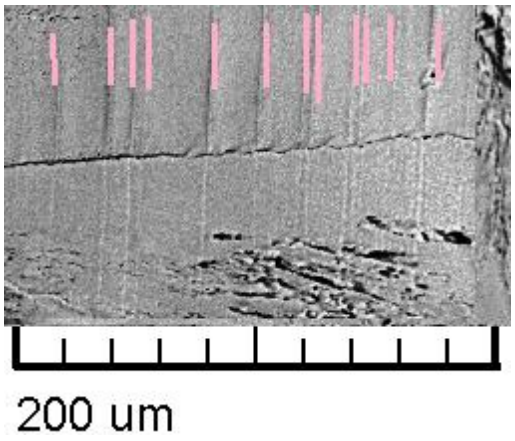
18/a és 18/b. ábra A piros nyilak a feltételezett téli növekedési minimumot, a fekete nyilak a nyári növekedési minimumot jelölik a 13. ábrán mért vonalvastagságok alapján

A diagramon az öt feltételezett tél között 2-3 vonalra kiterjedő, kisebb visszaesés látszódik a feltételezett nyár idején. Recens analógiák alapján a part menti, könnyebben felmelegedő sekély vízben kevesebb oxigén oldódhat és ez visszafoghatja a kopoltyúval lélegző Crassostreák növekedését (18. a és b ábra).

Ha a vonalak megjelenése nem valamiféle belső ciklus eredménye, akkor a kiváltó folyamat az árapály, a szökőárak-vakárak okozta sűrűsödés és ritkulás lehetett.

Az étetett csoportból a harmadik mintán sikerült a leghosszabb növekedési vonalakból álló sort megfigyelnem. A következő Murakoshi (1995) és Ohno (1984) szerint árapályra utaló jeleket találtam:

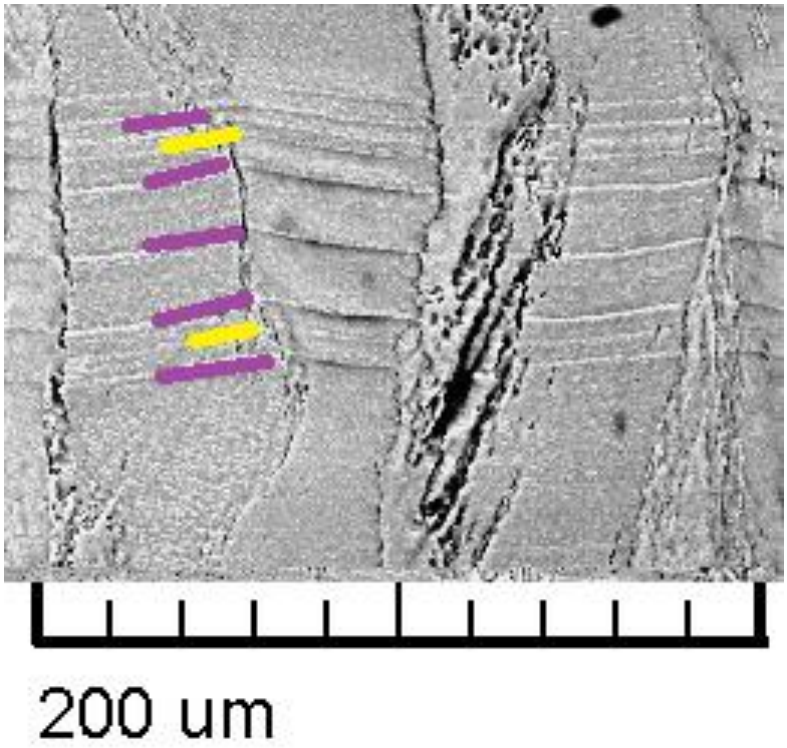
A: Keskeny és széles növedékek váltakozása (19. ábra).



19. ábra: a harmadik minta egy szakaszán a növedékek vastagsága élesen különbözik

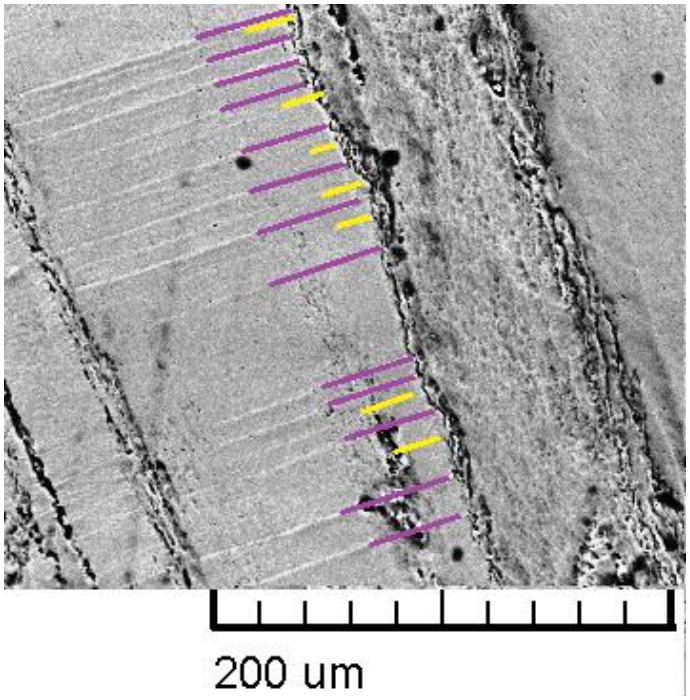
Ez utalhat az éjszakák és nappalok váltakozására, de a napi egyenlőtlenségre is a dagályok szintjei között Murakoshi (1995) és Ohno és Takenouchi (1984) alapán.

B: Egységnyi és dupla szélességű növedékek egymás mellett (20. és 21. ábra).



20. ábra: dupla és egységnyi széles növedékek váltakozása figyelhető meg a harmadik minta egy szakaszának visszaszórt elektronos felvételén

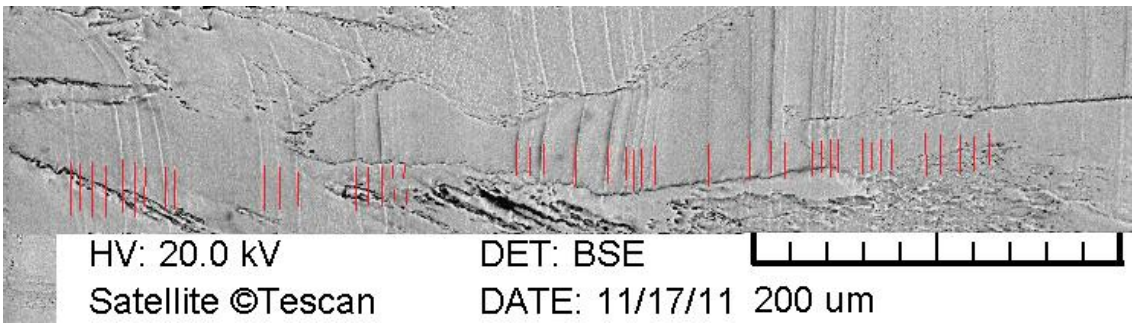
A 20. ábra alsó részén erősebben kivehető (lila) növekedési vonalak között először halványabb vonal van, felfelé ez eltűnik és itt dupla vastag növedéket láthatunk. A halvány



21. ábra: Halványabban és erősebben megjelenő növekedési vonalak látszódnak a harmadik minta egy másik szakaszának visszaszórt elektronos felvételén

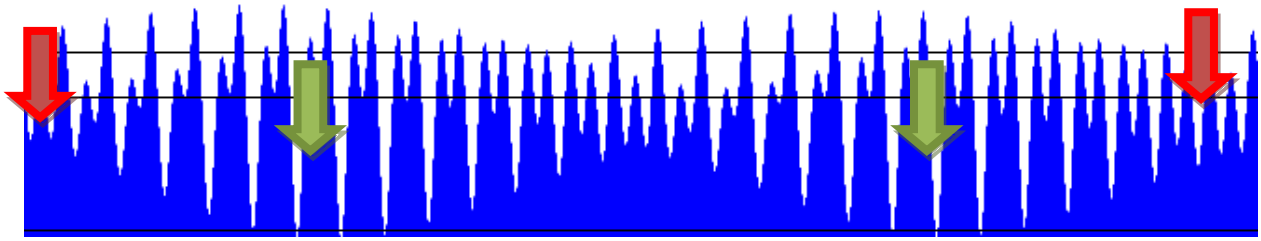
és erős növekedési vonalak váltakozását hosszabban is megfigyelhetjük a 21. ábrán. A különbséget az apályok szintje közötti napi egyenlőtlenség okozhatja: az egyik apály nem volt elég sekély, vagyis a kagyló nem töltött elég hosszú időt szárazon, hogy a vonal rendesen kifejlődjön. Ahol ez a halvány vonal is eltűnik, ott arra gondolhatunk, hogy az egyik apály már nem volt elég sekély, hogy a kagyló felszínre kerüljön.

C: a növekedési vonalak periodikusan sűrűsödnek és ritkulnak (22. ábra).



22. ábra: a harmadik minta egy szakaszának visszaszórt elektronos felvétele. Periodikus sűrűsödés és ritkulás figyelhető meg a növekedési vonalakon.

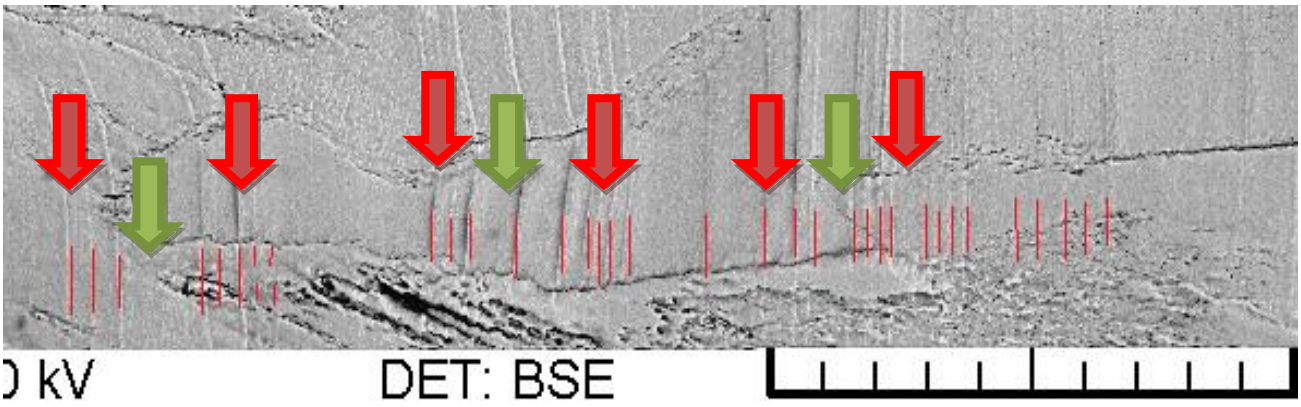
A vonalak hiánya úgy értelmezhető, hogy a példány nem került felszínre huzamosabb ideig, egy-egy vonal pedig erősebb apály nyomaként fogható fel. Murakoshi



23. ábra Yuriage, Miyagi, Japán árapálygörbéje 2011 decemberéből. A piros nyilak azokat az időszakokat jelzik, ahol elég kicsi volt a napi egyenlőtlenség a naponta érkező két apály között, hogy mindkét apály elérjen egy bizonyos minimumot, de közben a szökőár miatt elég sekélyek is legyenek, hogy naponta kétszer kerülhessen szárazra az árapályzóna alsó része is. A zöld nyilak azokat az időszakokat jelölik, mikor egy árapályzóna alsó része csak egyszer kerülhet szárazra. Forrás: http://tbone.biol.sc.edu/tide/

(1995) ábrája szerint ez a minta az intertidális zóna legalsó részére utalhat: a vonalak szökőárak idején keletkezhettek, amikor megnő az árapály szintkülönbség. Az egy csoportban álló vonalak száma 6-8, a csoportok közötti hely pedig körülbelül egy csoport szélességének felel meg, tehát ha ide is 6-8 vonalat feltételezünk, akkor egy félhavi árapály idejét kapjuk meg.

A 23. ábrán egy recens árapálygörbe jelzi, hogy a napi egyenlőtlenség változása a szökőárak és vakárak félhavi ciklicitásával együtt olyan helyzetet teremthet az intertidális zóna alsó részén élő molluszkák életterében, hogy szökőár kezdetén és végén naponta kétszer, szökőár közben naponta egyszer kerülnek szárazra, vakár során pedig olyannyira lerövidülhet a szárazon töltött idő, hogy ez nem hagy nyomot növekedési vonalként a kagylóhéjban (24. ábra).

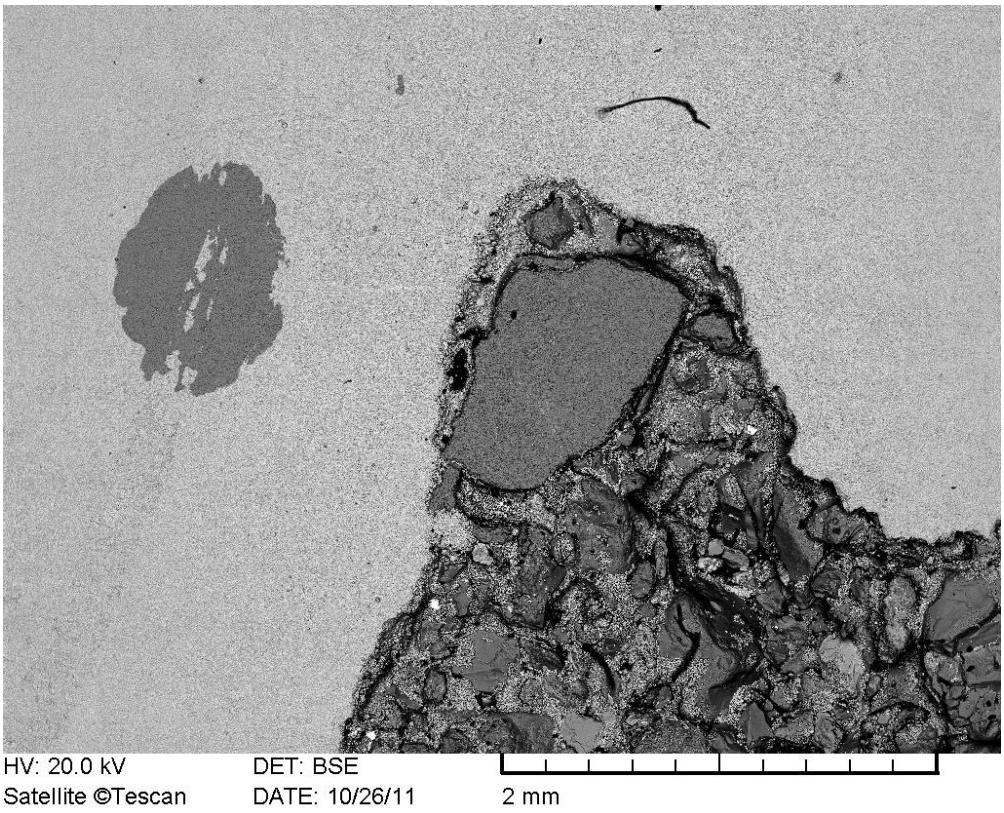


24. ábra A harmadik minta egy szakaszának visszaszórt elektronos felvétele. A piros nyilak a növekedés azon szakaszait jelzik, ahol kicsi volt a napi egyenlőtlenség a naponta érkező két apály között, mindkét napi apály nyomot hagyott növekedési vonalként. A szökőár hatása miatt elég sekélyek lehettek ezek az apályok, hogy naponta kétszer kerülhessen szárazra az árapályzóna alsó részén élő kagyló. A zöld nyilak azokat az időszakokat jelölik, mikor egy árapályzóna alsó részén élő kagyló naponta csak egyszer kerülhetett szárazra, vagy az egyik apály során nem volt olyan sok ideig szárazon a kagyló, hogy ez látszódjon a héjon. Az aránymérték hossza 200 mikrométer.

8. Bekérgezett szemcsék vizsgálata

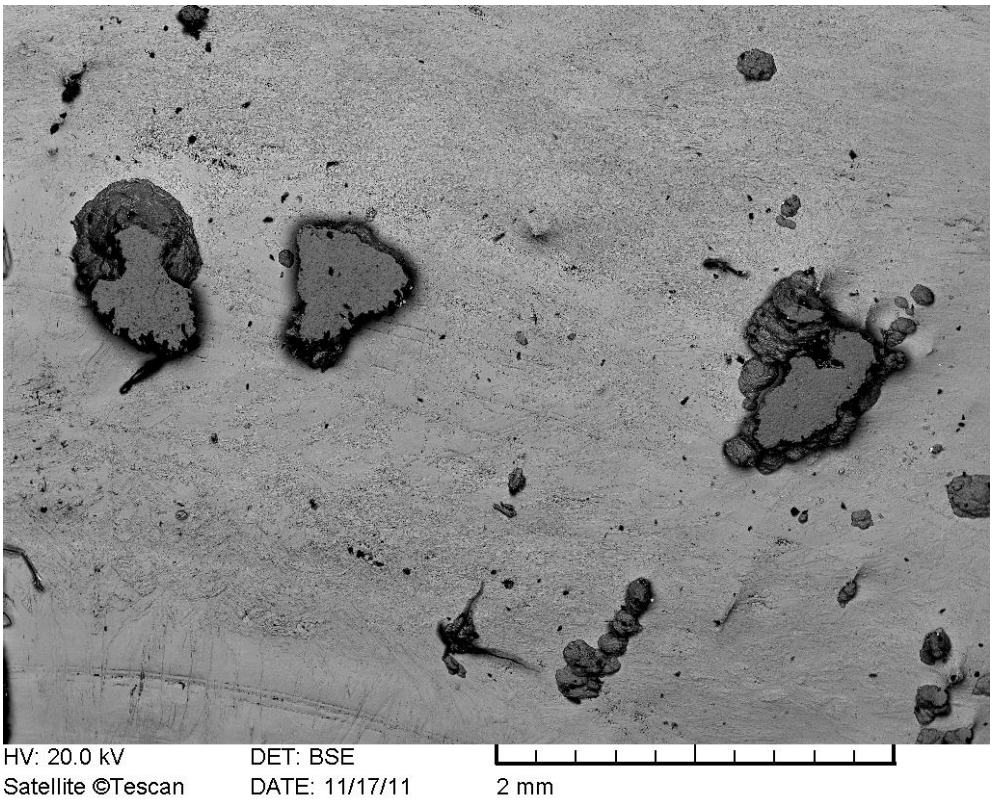
Szesszilis életmódjuk miatt a Crassostreák nem képesek eltávolítani a héjukról a nagyobb szemcséket, amelyeket az áramlás sem viszi el. Ezért, és talán a fúrószervezetek elleni védekezésből, gyakran kérgeznek be a héjukba szemcséket. A bekérgezett szemcsék vizsgálata azért lehet hasznos, mert a bekérgezés a beszállított üledékszemcséket egy adott pillanatban rögzíti, tehát az osztriga korát ismerve az épp akkor szállított szemcsék geokémiai tulajdonságai alapján a szemcsék földtani eredetét azonosítva, a környező lepusztuló területek földtani sajátosságai ismerhetők meg.

Egy nem étetett mintában (25. ábra) jól megfigyelhető a bekérgezés folyamata: baloldalt egy már bekérgezett kvarcszemcse látható, jobbra pedig a szemcsét körbenövő héj.



25. ábra: bekérgezett kvarc szemcsék egy nem étetett mintában

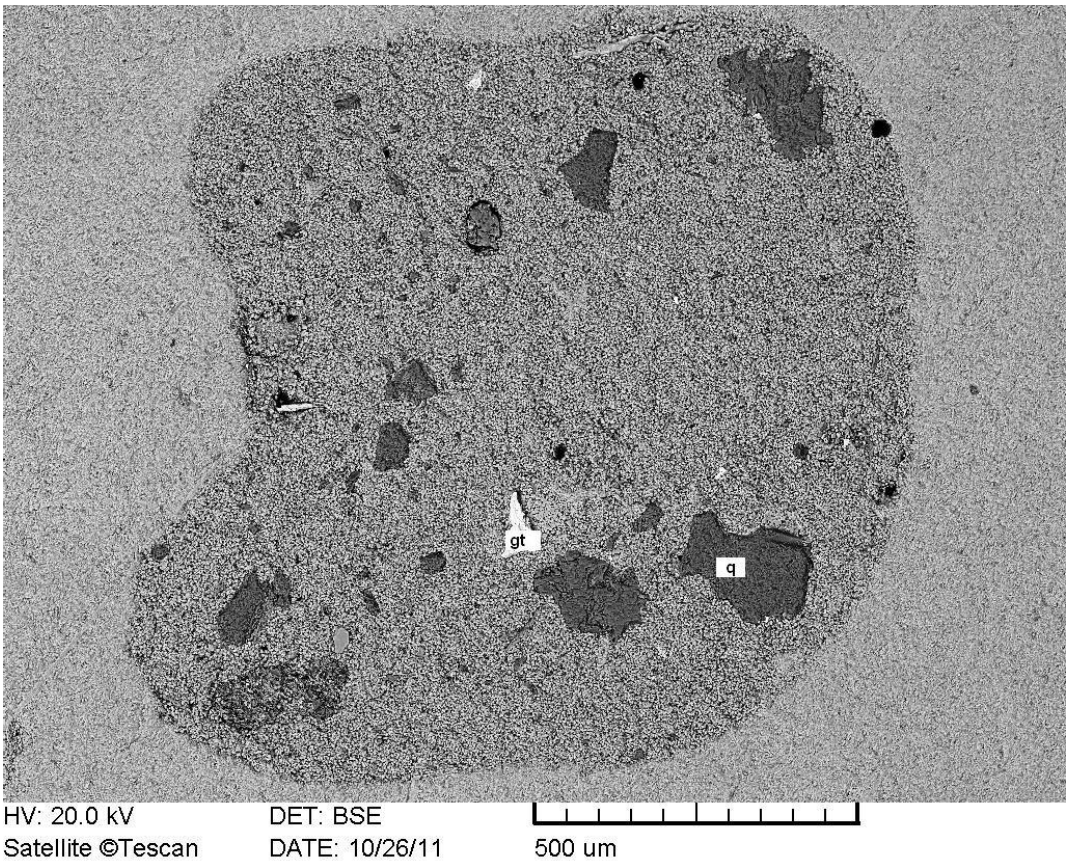
Túlnyomórészt kvarcszemcséket figyeltem meg a héjakban. Sósavas étetés után a szemcsék eredeti, lekerekített alakja is láthatóvá vált (26. ábra):



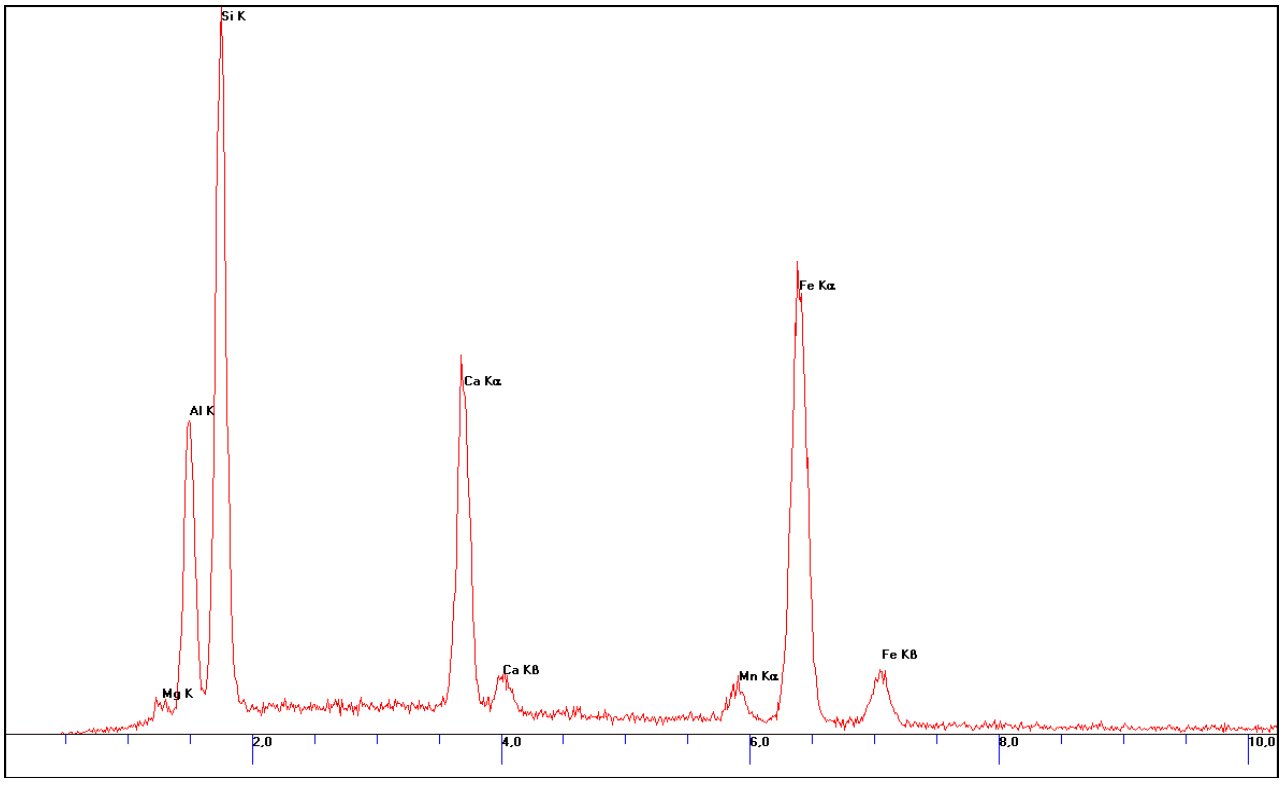
26. ábra: kvarc szemcsék étetett mintában

Egy másik nem étetett mintában gránát és kvarc szemcsét tartalmazó karbonátos törmelék fedezhető fel (27. ábra). A gránátszemcse kémiai összetétele szerint inkább vulkanikus, mint metamorf eredetű, tehát a mészhomokkő szemcse egy olyan üledékgyűjtő területen keletkezhetett, amely többek között lepusztuló vulkáni területekről jutott üledékhez. Energiadiszperzív röntgenspektrométerrel nyert spektruma alapján leginkább a Holdvilág árok gránátjaihoz hasonlítható (Bendő Zsolt, szóbeli közlés) (28. ábra). Ha figyelembe vesszük, hogy az Ostreák alapján esztuáriumi környezetben fordult elő a szemcse, lehetséges, hogy a szárazföld irányából (északnyugat-dél nyugatról, a Budai vonal csapása alapján) hordódott be, tehát az eocén Nadapi Andezit Formáció is szóba jöhet forrásként.

A bekérgezett kvarcszemcsékkel ellentétben a karbonát szemcsében látható kvarcok inkább szögletesek, mint lekerekítettek, tehát talán rövidebb szállítás után kerülhettek a karbonátos anyagba.



27. ábra: bekérgezett karbonát szemcse, gránát és kvarc szemcsékkel



28. ábra: a gránátszemcse energiadiszperzív röntgenspektrométerrel nyert spektruma

9. Összegzés

A molluszkahéjban megjelenő, növedékek és növekedési vonalak által alkotott minta az állat élőhelyének árapályciklusát tükrözi. Ezért fosszilis héjakból kinyert adatokkal következtetések vonhatóak le a megfigyelt molluszkák környezetéről.

Az eggenburgi Budafoki Homok Formációból vizsgált *Crassostrea gryphoidesek* (Schloth) valószínűleg egy esztuáriumi környezetben éltek a Paleogén medence dél-nyugati öblében. A kagylók növekedésük során terrigén szemcséket építettek be a héjakba, ezek alapján feltételezhető, hogy az esztuárium működése miatt nyugatról is hordódtak be szárazföldi eredetű üledékek.

A vizsgált héjakból félnapos árapályciklust lehet kiolvasni, erős napi egyenlőtlenséggel. Az utóbbi megjelenési módja alapján a héjakban feltételezhető, hogy a vizsgált példányok az árapályzóna alsó szintjén éltek. Évszakok szerint változtak az életkörülményeik. Télen a hűvös, nyáron az oxigénhiány vethette vissza növekedésüket.
Ezek a megfigyelések illeszkednek az Észak-Magyarországi-medencéről már korábban megalkotott képbe, mely szerint ott erős napi egyenlőtlenséggel félnapos ciklicitású árapály gyakorolt hatást az üledékképződésre.

Így Báldi (1958) sejtését, hogy a Budafoki Homok Formáció üledékképződési környezetére jelentős hatással volt az árapály, paleobiológiai megközelítésből bizonyítottam.

10. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. Sztanó Orsolyának (ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék) hogy elvállalta munkám irányítását és témavezetőmnek, Szente István főmuzeológusnak (ELTE TTK Természetrajzi Múzeum), hogy hasznos tanácsokkal látott el a minták előkészítéséhez. Köszönöm Bendő Zsolt segítségét a visszaszórt elektronmikroszkópos felvételek elkészítésében és köszönöm Dr. Selmeczi Ildikónak a kari dolgozat bírálatát.

Irodalomjegyzék

BÁLDI T. 1958: Adatok *Budafok* és Törökbálint környékének rétegtani viszonyaihoz. – Földtani Közlöny, 428-436.

BÁLDI T. 1980: A korai Paratethys története. – Földtani Közlöny, **110**, 456-472.

BÁLDI T. 1983: Magyarországi oligocén és alsó miocén formációk. - Akadémiai Kiadó, Budapest. 293 p.

Báldi T., 1986. Mid-Tertiary Stratigraphy and Palaeogeographic Evolution of Hungary. Akadémiai Kiadó, Budapest, 250 pp.

Báldi Tamás (1997): Az észak-magyarországi alsó miocén kőzetrétegtani tagolódása. In: Haas János (szerk.): Fülöp József-emlékkönyv. Akadémiai Kiadó. Budapest. pp. 215–230.

Barna G., Cserny T., Fórizs I. (2007) Balatoni kagylóhéjak (Unio pictorum Linné) stabilizotópos vizsgálata. Hidrológiai Közlöny. 87. 6. pp 17-19.

BUTLER, P.G., RICHARDSON C.A., SCOURSE, J.D., WANAMAKER A.D., SHAMMON T.M., BENNELL J.D 2010: Marine climate in the Irish Sea: analysis of a 489-year marine master chronology derived from growth increments in the shell of the clam Arctica islandica. – Quaternary Science Reviews**, 29**, 1614–1632.

CAHALAN, J. A., SIDALL, S. E., LUCKENBACH, M. W. 1989: Effect of flow velocity, food concentration and particle flux on growth rates of juveline bay scallops Agropecten irradians. - J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **129**, 45-60

CHAUVAUD, L., THOUZEAU, G., PAULET, Y-M. 1998: Effects of environmental factors on the daily growth rate of Pecten maximus juveniles in the Bay of Brest (France). - Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, **227**, 83-111.

CLARK, G. R., 2005: Daily growth lines in some living Pectens (Mollusca: Bivalvia), and some applications in a fossil relative: Time and tide will tell. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 228**, 26-42.

Csontos L., Nagymarosi A., Horváth F., Kovác M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. Tectonophysics, **208**, 221-241.

DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D., PROOSDIJ, D. V., OLLERHEAD, J., SCHOSTAK, L. 2002: Hydrodynamics and sedimentation in salt marshes: examples from a macrotidal marsh, Bay of Fundy. - Geomorphology, **48**, 209-231.

GRANGERÉ, K..; MÉNESGUEN, A.; LEFEBVRE, S.; BACHER, C.; POUVREAU, S. 2009: Modelling the influence of environmental factors on the physiological status of the Pacific oyster Crassostrea gigas in an estuarine embayment; The Baie des Veys (France). Journal of Sea Research, **62**, 147-158.

HARZHAUZER, M; PILLER, W. E.; MÜLLEGGER, S.; GRUNERT, P.; MICHEELS, A. 2011: Changing seasonality patterns in Central Europe from Miocene Climate Optimum to Miocene Climate Transition deduced from the Crassostrea isotope archive. Global and Planetary Change, **76**, 77-84.

HONG, W.; KEPPENS, E.; NIELSEN, P.; VAN RIET, A; 1995. Oxygen and carbon isotope study of the Holocene oyster reefs and paleoenvironmental reconstruction on the northwest coast of Bohai Bay, China. Marine Geology **124**, 289–302.

KÁZMÉR, M., KOVÁCS, S., (1985): Permian-Paleogene paleogeography along the eastern part of the Insubric-Periadriatic lineament system: evidence for continental escape of the Bakony-Drauzug unit. Acta Geologica, **28**, 71-84.

LINARD, C., GUEGUEN, Y., MORICEAU, J., SOYEZ, C., HUI, B., RAOUX, A., CUIF, J. P. COCHARD, J. C., LE PENNEC, M., LE MOULLAC, G. 2011: Calcein staining of calcified structures in pearl oyster Pinctada margaritifera and the effect of food resource level on shell growth. Aquaculture, **313**, 149-155.

MATTHEWSON, B. 2009: Lessons From biomineralization: the role of post-transitional modification. Ph.D thesis, Victoria University of Wellington, 228 p.

MURAKOSHI, N. 1995: Diurnal inequality pattern of the tide in the upper Pleistocene Paleo-Tokyo Bay: reconstruction from tidal deposits and growth lines of fossil bivalves. - Spec. Publs. int. Ass. Sediment, **24**, 289-300.

OHNO, T., TAKENOUCHI, K. 1984: Tidal growth patterns in recent Monodonta labio (LINNAEUS, 1758) (Gastropoda, Trochidae). - NOM, **12**, 51-56.

RICHARDSON, C. A., CRISP, D. J., RUNHAM, N. W. 1980: Factors Influencing Shell Growth in Cerastoderma edule. - Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences**, 210**, 513-531.

SURGE, D.M.; LOHMANN, K.C.; DETTMAN, D.L. 2001. Controls on isotopic chemistry of the American oyster, Crassostrea virginica: implications for growth patterns. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **172**, 283–296.

SZTANÓ O. 1995: Palaeogeographic significance of tidal deposits: an example from an early Miocene Paratethys embayment, Northern Hungary. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **113**, 173-187.

SZTANÓ, O. ÉS TARI, G., 1993. Early Miocene basin evolution in northern Hungary: tectonics and eustasy. Tectonophysics, **226**: 485-502.

TREMBLAY, R. ÉS PELLERIN-MASSICOTTE, J. 1997:Effect of the Tidal Cycle on Lysosomal Membrane Stability in the Digestive Gland of Mya arenaria and Mytilus edulis L. -Comp. Biochem. Physiol., **117A**, 99–104.

TOJO, B., OHNO, T., FUJUWARA, T. 1999: Late Pleistocene changes of tidal amplitude and phase in Osaka Bay, Japan, reconstructed from fossil records and numerical model calculations. - Marine Geology**, 157**, 241–248.

WELLS, J. W. 1963: Coral growth and geochronometry. - Nature, **197**, 948 - 950.

WILDISH, D. J., KRISTMANSON, D. D. 1988: Growth response of giant scallops to periodicity of flow. - MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES, **42**, 163-169.