

**A HA LONG-ÖBÖL KARSZTOS SZIGETTENGERÉNEK
FELSZÍNALAKTANI VIZSGÁLATA**

**THE GEOMORPHOLOGICAL EXAMINATION OF THE KARSTIC
ARCHIPELAGO OF HA LONG BAY**

MÓGA JÁNOS – TOMBOR ESZTER

ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány
1/C. jmoga@freemail.hu

Abstract: In the Ha Long Bay, at the Vietnamese shores, a typically humid tropical karst formation was evolved, which formed into a karstic archipelago due to the transgressions of the seawater. Le Duc An (1972) called it Ha Long karst types. The karst formation of thousands of islands consists of Proterozoic, Middle-Late Cambrian, Middle Devonian, Carboniferous-Permian and Middle Triassic limestones and its characteristic landforms were formed by karst processes that took place since the Upper Triassic period and are still ongoing. During the fourth period in the karst development of the Ha Long Bay, the separate raised and descended blocks had an influence on the formation of the Ha Long karst type. The sinking of the Ha Long syncline block resulted the evolution of the Ha Long karst type and the raised islands (Fenglin) with steep slopes represented islands and lonely karstic mountains. On the surface of the Cat Ba tectonic plate, emerging from the bay, a peak cluster-type karst (Fengcong) was evolved. In our study, we present the morphogenetic and characteristic landforms of the Ha Long karst type with the help of field examinations, literary data and GIS investigation results. During GIS research, we divided the tropical karst formations to typical areas; we defined the size of the shapes and the territorial distribution of the sea and the continental area on the selected areas. We examined the relationship between the structural lines of the karst area and karst landforms, as well as the structural orientation of the forms.

Bevezetés

A Ha Long-öböl az északi szélesség 20°45' és 21°50' foka között, valamint a keleti hosszúság 106°58' és 107°22' foka között található Vietnam Quang Ninh régiójában. Napjainkban Vietnam egyik leglátogatottabb és legismertebb turista célpontja, amely 1994 óta a Világörökség része. Az öböl 1,533 km² területén kb. 2000 különböző formájú és méretű kis sziget található, közel 50 %-a ma is névtelen és nagy részük lakatlan. A Ha Long-öböl nemcsak mint turisztikai látványosság, hanem egyedülálló földtani és morfológiai adottságai miatt is felbecsülhetetlen értéket képvisel az ország világörökségei között.

Földünk legnagyobb kiterjedésű karsztvidéke Dél-Kínában és Északkelet-Vietnamban található. Területe mintegy 600 000 km², amelyhez még számos más karsztos táj kapcsolódik a Hátsó-Indiai-félszigeten, és az Indonéz-szigetvilágban. Délkelet-Ázsia területén különféle trópusi és szubtrópusi

rópusi karsztípusok találhatók, amelyek a következők: 1. „*fenglin*” és „*fengcong*” típusokra továbbosztható szigethegyes karszt, 2. szurdokvölgyekkel tagolt magasfennsíki-fennsíki karszt, 3. köerdő típusú karszt, 4. árkos-sasbérce középhegységi karszt, 5. esőerdő karszt, és 5. Ha Long-öböl karsztípus (karsztos szigettenger).

Tanulmányunkban ez utóbbi karsztípus kialakulásával, formakincsével foglalkozunk, részben irodalmi adatok alapján, részben saját morфомetriai vizsgálataink eredményeivel alátámasztva állításainkat. Délkelet-Ázsia trópusi karsztjainak vizsgálata évtizedekre nyúlik vissza. Az ott található karsztos tájak földtani viszonyait, a karsztos tájra ható klimatikus tényezők szerepét, a karsztos tájak morfológiáját és hidrogeológiai jellegét számos tanulmányban ismertették. Ez az a terület, ahol jeles külföldi kutatók (HOANG 1973, LE 1972, 1996, YUAN 1991, SWEETING 1995, WALTHAM 1998, 2000, 2008, TRAN 2003, FORD – WILLIAMS 2007) mellett magyar kutatók is részt vettek a karszt megismerésében. Elsősorban BALÁZS DÉNES nevét kell megemlíteni (BALÁZS 1961, 1968, 1971, 1986), aki úttörő szerepet játszott a Dél-kínai trópusi karsztok kutatásában. Kevésbé ismert, de annál jelentősebb RÁDAY ÖDÖN (1976, 1978) munkássága, akinek a karsztvíz hasznosításában játszott szerepe hangsúlyozható. A távérzékelési módszereket széles körben alkalmazta trópusi/szubtrópusi karszterületek térképezésére. Számos vietnami és laoszi település az általa vezetett karszthidrogeológiai munkacsoportnak köszönheti, hogy tiszta ivóvízhez jutott az 1970-es években a karsztforrások vezetékrendszerbe való befoglalása révén. A térség trópusi karsztos tájainak kutatásáról szóló tanulmányok egész sora jelent meg magyar nyelven napjainkig, amelyek a karsztos rendszer formakincsének, működésének valamely jelenségcsoportját vizsgálta (JAKUCS 1971, MÓGA 1982, KUBASSEK 1985, VERESS 2004) analitikus, ill. összefoglaló munkákban, vagy a karszt- és barlangvédelemhez kapcsolódik (HORVÁTH *et al.* 2006, KEVEINÉ BÁRÁNY 2009).

Alkalmazott módszerek

A tanulmányunkban terepi vizsgálatok, irodalmi adatok és GIS vizsgálatok eredményeit felhasználva ismertetjük a Ha Long típusú karszt morfogenetikáját és jellegzetes formakincsét. A Ha Long-öböl karsztos szigettengerének felszínalaktani vizsgálatához alkalmazott térinformatikai módszerek változatos eredményekkel szolgáltak. A kiválasztott terület morfológiai és morфомetriai jellemzőinek meghatározását a Global Mapper 15 valamint a Surfer 13 szoftverek segítségével végeztük a Jonathan de Ferranti-féle domborzatmodell felhasználásával. A térinformatikai vizsgálata-

tok során elkülönítettük a területre jellemző trópusi karsztformákat, a kiválasztott területeken meghatároztuk a formák méreteit, a tenger és a szárazföld arányát. Vizsgáltuk a karsztvidék szerkezeti vonalainak és a karsztos felszínformák közötti kapcsolatot, ill. a formák szerkezeti irányultságát.

A Ha Long-öböl karsztos formái között különleges helyet elfoglaló, a tenger vízzel elborított töbrök és karsztos völgyek (ang és tung) morfometriai vizsgálatát Global Mapper 15-ös szoftverrel végeztük. A sziget-tengerben a tenger és a szárazföld területarányának meghatározása a vizsgált területre elhelyezett, a valóságban 1 km-es oldalhosszúságú cellák-ból álló gridháló segítségével történt. A karsztos szigetek méretének és területének meghatározása a szigetek köré rajzolt poligonok segítségével és Global szoftver alkalmazásával történt.

A Ha Long-öböl karsztos formakincsének kialakulása

Tipikus humid trópusi karsztos táj, amelyet a tenger elöntés formált sziget-tengerré. *LE* (1972) Ha Long karszt típusnak nevezte. Az ezernyi szigetből álló karsztos tájat karbon, perm és triász kőzetek alkotják, és valószínűleg a felső triászban kezdődő és lényegében napjainkig tartó karsztosodás alakította ki jellegzetes formakincsét. A negyedidőszakban a Ha Long-öböl karsztfejlődésében a különálló kiemelkedő és lesüllyedő blokkok befolyásolták a Ha Long típusú karszt kialakulását. A Ha Long szinklinális tömbjének lesüllyedése eredményezte a Ha Long típusú karszt kialakulását, amelyet meredek lejtőkkel kiemelkedő, magányos karsztos hegyekből álló szigetek (fenglin) jellemeznek. Az öbölből kiemelkedő Cat Ba lemezdarabhoz tartozó Cat Ba-sziget felszínén pedig főleg csúcs-halmaz (fengcong) típusú karszt alakult ki.

WALTHAM (1998): a szigetvilág fejlődéstörténetében 5 szakaszt különített el:

1. a miocénben kb. 20 millió éve kialakult egy karsztos síkság,
2. dolinák alakultak ki,
3. kúphegyek halmaza alakult ki,
4. meredekfalú, különálló toronykarsztos hegyek jöttek létre,
5. a karsztos szigethegyeket tenger öntötte el.

A késő-pleisztocén és holocén tengerelöntés előtt különböző karszt-típusok (fengcong vagy csúcs-halmaz), léteztek már a Cat Ba-szigeten és a mai Ha Long-öböl környékén. Voltak dolinák, zárt mélyedések, völgyek, és víznyelők a völgytalpakon. Ezek a felszínformák tág határok között változtak formájuk, alakjuk és méreteik alapján, kerek, megnyúltak lehettek és átmérőjük 10 m – 100 m között váltakoztak. Talpukat vékony rétegben vö-

rösesbarna agyag és humusz takarta. A csúcsok kúposak, toronyszerűek, gyakran vonulatokat képeznek. Tetőiket karrok és mikrokarrok borítják. A lejtők általában 20 – 50 fokosak, szálkő alkotja őket, esetleg egy vékony rétegben agyag és humusz borítja be a felszínüket. A vékony talajtakaró ellenére trópusi örökzöld esőerdő borítja be a lejtőket és a tetőket. A fengcongok mellett helyenként karsztos toronyhegyek (fenglin) is kiemelkedtek a Ha Long-öböl helyén kialakult karsztos síkságból. Ez a karszt típus sokfelé előfordul máshol is Dél-Kínában és Észak-Vietnamban, az esővíz erózióján és a mészkőoldásán kívül a vízfolyások laterális eróziója is szerepet játszott a maradványhegyekkel teleszórt felszín kialakításában. E hatások következtében a mészkőhegyek mérete csökkent, a lejtők meredeksége nőtt, amely a vertikális vagy akár aláhajló sziklafalak kialakulásához vezetett a továbbfejlődő síkságon. Így keletkezett a különálló hegyekből álló toronykarsztos felszín (YUAN 1991, WALTHAM 1988, TRAN 2003).

A jelenleg elfogadott nézetek szerint a Ha Long-öböl felszínének kialakulása 6 fázisban ment végbe (WALTHAM 1988, TRAN 2003):

1. a késő-pleisztocén – korai holocénben kezdődött a tenger előretörése a Tonkini-öbölbe, és kb. 8000-7000 éve érte el a Ha Long-öböl déli részét.
2. a transzgresszió legnagyobb kiterjedését kb. 7000-4000 között érte el, előntötte a teljes Ha Long-öblöt.
3. tengeri regresszió történt 4000-3000 éve, amely a kiemelkedő felszíneken helyenként lateritesedéssel járt.
4. egy újabb transzgresszió következtében 3000-2000 évvel ezelőtt ismét tengervíz borította el a Ha Long-öböl területét.
5. később a Ha Long-öböl elkeskenyedett a Vörös- és Bach Dang-folyók üledékfelhalmozásával és a tengerparti mangrove mocsarak kialakulásával.
6. A Ha Long-öböl kissé kiszélesedett az utolsó 1000 évben az óceán vizének emelkedésével és a tengerjárás (az apály- dagály váltakozása által keltett áramlás) miatt.

A tengerszint emelkedés és süllyedés bizonyítékai színlőként láthatók a karsztos szigetek meredek sziklafalain. Kagylók, csigák és tengeri férgek maradványai (életnyomok) alapján C^{14} -es vizsgálatokkal a különböző magasságokban található színlők eltérő korát lehetett kimutatni. A vizsgálatok azt is bizonyították, hogy a tengerszint változásai nem csak eusztatikusan mentek végbe, a formakincs helyi tektonikai hatásokat is tükröz (TRAN *et al.* 2003).

Amikor a tenger behatolt a területre a Ha Long-öböl karsztjának fejlődése bonyolultabbá vált. Az esővíz erózióján kívül a mészkő lepusztulásához a tengervíz mechanikai és kémiai lepusztító hatása is hozzáadódott. Ez a hatás ott a legerősebb, ahol a tengerjárás erősebb. A vízből kiálló sziklaszi-

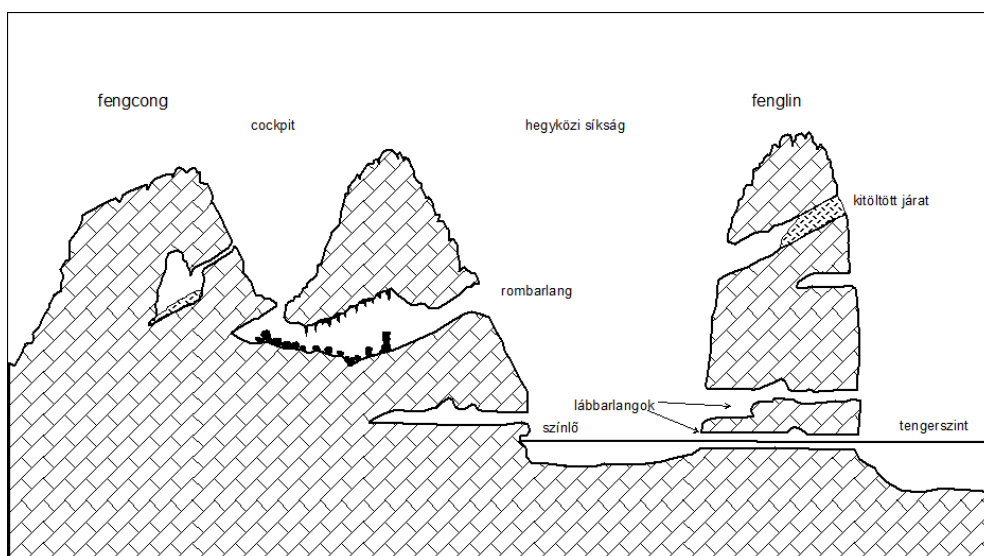
getek és tornyok lábát ostromló hullámok vízszintes vájatokat alakítanak ki a tornyok és sziklaalakzatok lábánál, egyre csökkentik a kis szigetek méretét. Mivel a hegyek lába pusztul erősebben, a toronyhegyeket körülölelő ereszszerű vájatok (színlők) miatt gyakran gombaszerűek a hegyek. A szigetek lábánál a színlökhöz gyakran barlangok, alagutak kapcsolódnak (1. ábra). Ezek a színlők és alagutak legtöbbször 2-2.5, 3-5, 7-8 és 9-12 m-es magasságban találhatók meg. A koruk jól meghatározható a belsejükben található osztrigatelepek alapján. Tengeri csigák, kagylók karokban megmaradt meszes vázának vagy tengeri férgek által kivájt járatok radiokarbon (C^{14}) módszerrel történő vizsgálatával megállapítható a színlők kora, amely általában 2300-5000 év közé esik, de egyes adatok szerint akár 40.000 éves színlöket is találhatunk a szigetvilágban (TRAN *et al.* 2003).



1. ábra: Színlők alakultak ki a toronyhegyek lábánál
Fig. 1. Sea notches occur in the limestone cliffs

Egy másik tengerhez köthető hatás a tengerjárás eróziója. A Ha Long-öbölben a napi tengerjárás magasságkülönbsége 4 m. Az apály felszínalatti áramlást alakít ki, belevág az aljzat kőzeteibe és keskeny hosszú csatornát alakít ki. Ezek a csatornák az elöntés előtti időkben kialakult karsztos völgyek alján alakulnak ki. A tengeri hatásoknak még szembevetőbb következménye az elegyengető üledék felhalmozása az aljzaton. A tengerelöntés előtti karsztos völgyeknek, dolináknak, mélyedéseknek az alja különböző magasságban van. Amikor a tenger elöntötte őket, a mély de-

pressziók feltöltődtek tengeri üledékekkel. A tengerfenék emiatt viszonylag kiegyenlítettebb lett, a partközeli területeken kb. 5 m-es a vízmélység, míg 10-15 m a szigetektől távolabbi területeken.



2. ábra: A Ha Long karsztípus formakincse (TRAN et al. 2013 nyomán)
Fig. 2. Landforms of the Halong karst types (after TRAN et al. 2013)

A Ha Long-öböl legnagyobb szigete Cat Ba szerkezete és ennek következtében a morfológiája is eltér az öböl sok apró szigetétől. Cat Ba egy komplikált antiklinórium része, amely északon a Ha Long szinklinálissal érintkezik, délen pedig a Vörös-folyó lesüllyedt blokkjával határos. Főleg devon és karbon időszi mészkövek alkotják. A sziget fő morfológiai elemeit, a Vörös-folyó irányát is kijelölő ÉNy-DK-i törésrendszer (16 párhuzamos törésvonallal) alakította ki, amely egy hosszanti árokszerű völgyet alakított ki Cat Ba-szigeten Gialuantól Cat Ba városig. Cat Ba-sziget és a körülötte emelkedő szigettenger egy tipikus csúcs-halmaz (fengcong) jellegű trópusi karsztos táj, amelyet elöntött a tenger (2. ábra). A sziget átlagos magassága 150 m, a legmagasabb csúcs a Caovong-csúcs 320 m. Sok 300 m körüli magasságú csúcs van, amelyek ÉNy-DK felé fokozatosan lealacsonyodnak. A környező tenger 1-3 m mély, K-en és DK-en még sekélyebb. A partoktól távolodva a tengermélység 1-2 m-ről 10-15 m-re nő. Az egész fő sziget a kevés és kis területű szilikátos üledékek kivételével mészkövekből áll (WALTHAM 1988, TRAN 2003, WALTHAM et al. 2004).

A cat ba-szigeti karsztos táj jellegzetes negatív formáit főleg zárt mélyedések (cockpit) és szerkezetileg preformált hosszanti völgyek képezik. A zárt mélyedések általában szimmetrikusak, oválisak, néhány ha és néhány

10 ha között változik a területük. 50 hektárnál nagyobb azonban nincs közöttük. Mélységük néhány 10 m és 200 m között változik. Barlang mennyezet beomlásával keletkezett mélyedés (szakadékdolina) lényegében nincs, úgy tűnik, hogy az oldódáson kívül a karsztosodásban más tényező (pl. omlás) nem játszik fontos szerepet a jelenlegi felszín morfológiájának kialakításában. A kúphegyeken különféle típusú és meredekségű lejtők alakultak ki. A mélyedések alján is gyakran felszínre bukkan a mészkő, de beboríthatják vékony rétegben üledékek, agyag, humusz, néha kérgek is. Gyakoriak a víznyelők, melyek elvezetik az esővizet.

A legismertebb hosszanti völgy a sziget tengelyében ÉNy felől Gialuantól Cat Ba városig kb. 20 km hosszan húzódik. E völgy szélessége 100-500 m között változik. Mélysége 40 m-ről 10 m-re csökken DK felé tartva. A völgy alja többnyire sík, vékony vörösbarna agyag borítja. Az esős évszakban időszakos vízfolyás alakul ki benne, amely a völgy peremén víznyelőkben tűnik el. A völgy mindkét oldalát mészkőfalak határolják, amelyeket a törésvonalak irányában kitüntetett oldódás alakított ki (TRAN *et al.* 2003).

A csúcshalmaz típusú karsztfelszín a meghatározó karszttípus Cat Ba-szigeten. A hegyek általában piramis, kúp és domború dómformájúak. Alaprajzuk szimmetrikus. A fengcong magaslatai között lényegében nincs hegyközi síkság, hanem csillag alakú dolinák (cockpit), karsztutcák, választják el őket egymástól. A csúcsok és a mélyedések közti magasságkülönbség néhány tíz és 100 m. Gyakran nevezik *”tojástartó topográfiának”* a sűrűn elhelyezkedő csúcsok és a közbenső depressziós formák együttesét, de ilyen szabályos morfológiával Cat Bán kevés helyen találkozhatunk. A cockpiteket felszín alatti vízelvezetés jellemzi, kisebb méretű lábbarlangocon keresztül folynak el a vizek. A csúcsokon és lejtőkön felszínre bukkanó mészkő felülete a karrok és mikrokarrok hálózata miatt egyenetlen, összességében elmondható, hogy szinte járhatatlan vagy nagyon nehezen járható az egész sziget.

A Cat Ba körüli kis szigetek felszíne hasonlít a fő szigetéhez. A szigetekkel körülvett zárt völgyeket, amelyekbe behatolt a tenger a helybeliek *„áng”*-nak nevezik (3. ábra). E mélyedések nem nagyok, maximum néhány tíz ha, mélységük 1-4 m között változik. Azokat a tenger által elöntött völgyeket, amelyek csatornákat, szorosokat alakítottak ki, *„tung”*-nak nevezik a helybeliek.

A Cat Ba körüli szigetek mérete és száma csökken, ahogy távolodunk a fő szigettől. Magasságuk néhány tíz méter és 200 m között változik, csaknem mindig függőleges falakkal vannak körülvéve, lábuknál mély korróziós színlők jelzik, hogy a szárazföldön keletkezett karsztformákat elborította és átalakította a tenger.



3. ábra: Tengervízzel kitöltött dolina (áng)
Figure 3. Doline filled up by salt water (áng)

A Ha Long-öböl kisméretű karsztos szigetein megismert barlangok általában rövidek, hosszuk ritkán haladja meg a 100 métert. Relatív magasságuk alapján 3 csoportba sorolhatjuk őket: a jelenlegi tengerszint közelében, 5-15 m-rel, ill. 25-50 m-rel magasabban nyílik a bejáratuk. A magasabban elhelyezkedő barlangok általában idősebbek, a tengerszint felett található barlangok a pleisztocén korban keletkeztek, több mint 10 ezer évvel ezelőtt. A barlangok morfológiájuk alapján további 3 csoportba sorolhatók: magasra kiemelt száraz maradványbarlangok, horizontálisan húzódó lábbarlangok és színlőbarlangok (WALTHAM 1988, TRAN 2003, TRAN et al. 2003).

A száraz maradványbarlangok magasabb szinten húzódó járatai idősebb barlangok maradványai, amelyek még a tengerelöntés előtt a pleisztó-

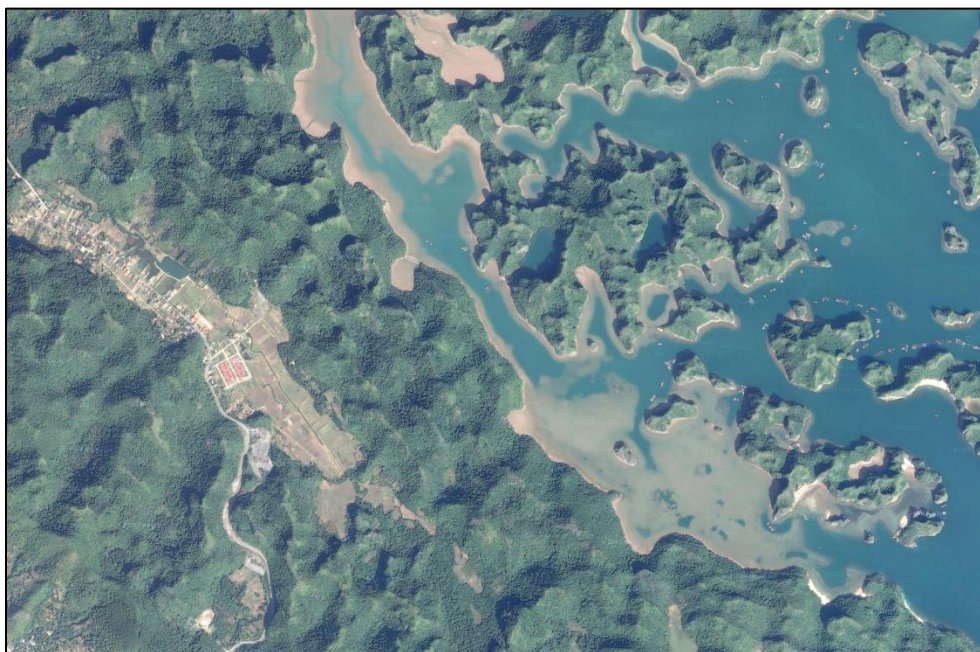
cénben alakultak ki. Gyakran freatikus környezetben jöttek létre, amelyre a falakat és mennyezetet borító oldásformák (scallopsok) utalnak. Rendszerint egy meredeken lejtő folyosóból és egy, vagy több magas tereméből állnak. Ilyen pl. a Csodálatos-barlang (Sung Sot), ahol a bejárat több mint 10 m magas. A termekben és járatokban hatalmas méretű cseppkövek találhatók, amelyek porózus szerkezetűek és korántsem olyan szépek és színesek, mint a mérsékelt övezeti barlangokban. A nedves trópusi klímára jellemző gyors és intenzív oldódás, ill. azt kísérő kiválás következtében nagy tömegben halmozódnak fel a másodlagos karbonátok, gyorsan kitölthetik a kisebb barlangokat. Jellemző, hogy még a bejárat mennyezetéről is hatalmas méretű sztalaktitok függenek.



4. ábra: Színlőbarlang a Bikaféj-szigeten (Dau Be), a Ba Ham-tó (Három alagút-tó) járatrendszer bejárata
Fig. 4. Marine notch cave in the Dau Be island and the entrance of Ba Ham lake cave

A komplex eredetű lábbarlangok a tengerszint magasságában vagy kissé afölött húzódnak. A transzgresszió előtti időkben már kialakult karsztos eredetű lábbarlangokat a tengervíz oldó hatása, a hullámvás és az árapály keltette erózió és abrázió később átformálta. Lapos mennyezet jellemzi őket, amit a tengerszintváltozások alakítottak ki a holocénban és a pleisztocénban. A horizontálisan húzóódó lábbarlangok a tengerszint közelében az abrázió által kialakított eróziós és akkumulációs színlőkhöz és teraszokhoz kapcsolódnak.

A színlőbarlangok a tengervíz oldó hatása, a hullámozás és árapály keltette áramlás hatására kialakult üregek (4. ábra), amelyeknek horizontális mennyezetű járatai a jelenlegi tenger szinthez, ill. a holocén és pleisztocén transzgressziók szintjéhez igazodik. Legtöbbjük ma is aktív, a barlangfolyosókat részben kitölti a tengervíz. Legérdekesebb közülük a Ha Long-öböl déli részén emelkedő Bikafej-szigeten (Dau Be) található a Ba Ham-tó (Három alagút-tó) járatrendszere, amely három sósvízzel kitöltött dolinató (áng) és a köztük húzódó barlangjáratok együttese (5. ábra). A színlőbarlangok három sós tengervízzel kitöltött tavat kötnek össze, majd végül a tengerbe nyílnak.



5. ábra: Ángok és tungok a Cat Ba környéki szigetvilágban
Fig. 5. Ángs and Tungs in the archipelagos of Cat Ba

Eredmények

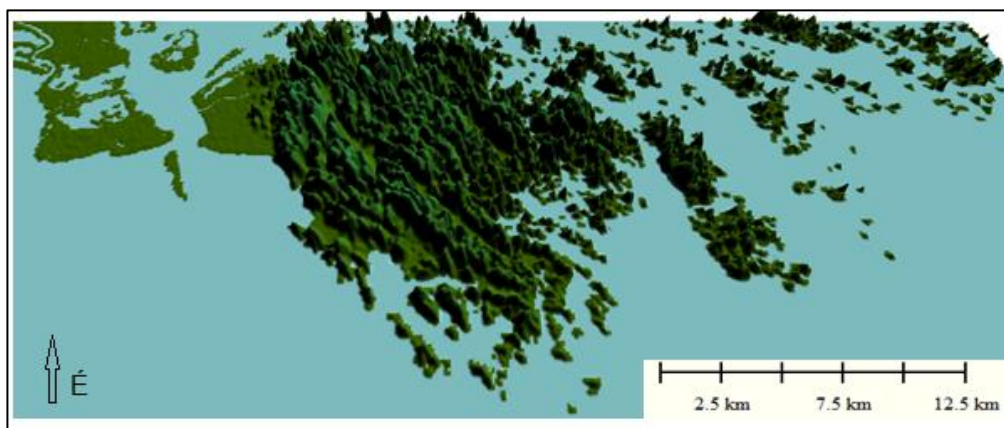
A Cat Ba környéki karsztos szigettenger térinformatikai vizsgálata

Vizsgálataink a Cat Ba-szigetet és közvetlen környékét célozták, mivel a szárazföld felől a tenger felé történő távolodás során itt volt a legszembevetőbb, ahogy a fengcong típus fenglin típusú karsztba vált át, valamint a vizsgálni kívánt tungok is a fősziget partvonala mentén voltak fellelhetőek. A Cat Ba-sziget és a környező karsztos szigettenger felszínalaktani vizsgálatához alkalmazott térinformati-

kai módszerek változatos eredményekkel szolgáltak. A kiválasztott terület morfológiai és morfometriai jellemzőinek meghatározását a Global Mapper 15 szoftver segítségével végeztük. Ahol domborzatmodell használatára is szükség volt, ott a Jonathan de Ferranti-félét alkalmaztuk. Az elvégzett vizsgálatok során többek között az erre a területre jellemző trópusi karsztformák felismerésével és mérésével foglalkoztunk, valamint a tenger és szárazföld arányát határoztuk meg néhány kiválasztott területen.

A vizsgált terület tektonikája és annak hatása a vízfolyáshálózatra

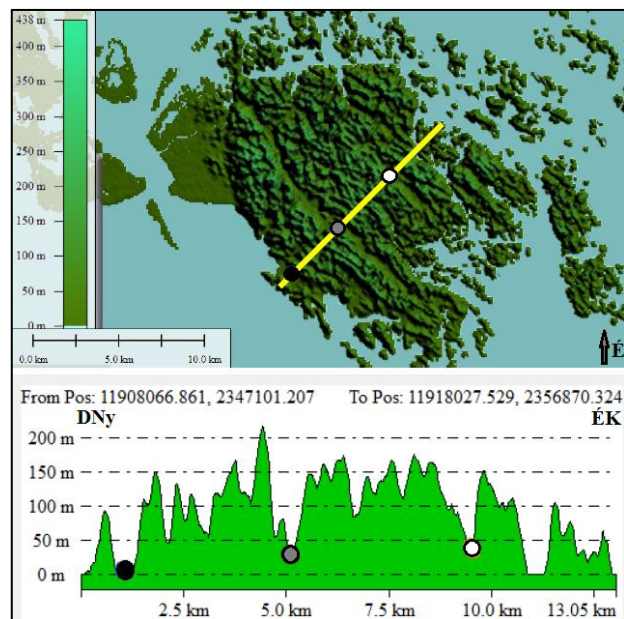
A fengcong típusú trópusi karszt a Cat Ba-szigeten a 6. ábrán jól kivehető. A főszigettől távolodva már a tengerből magányos szirtekként kiemelkedő toronykarsztok (fenglin) válnak gyakoribbá.



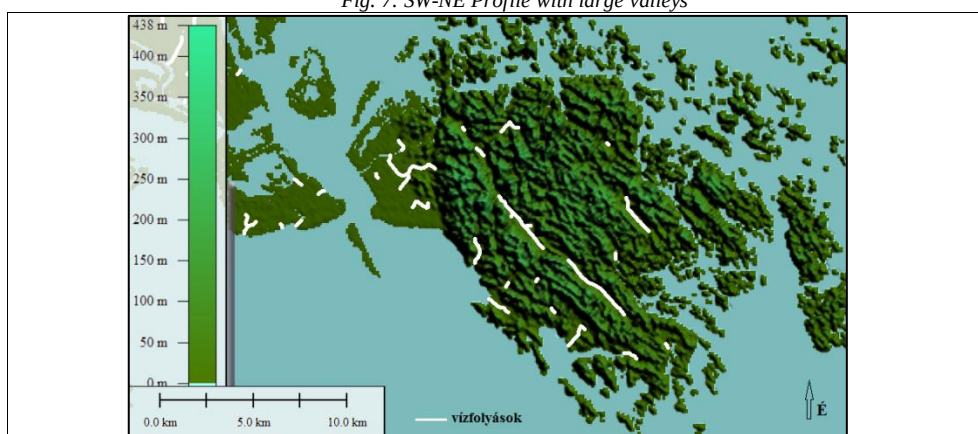
6. ábra: A Cat Ba sziget és környéke, 3D-s ábrázolás
Fig. 6. Cat Ba island and its surrounded archipelago on a 3D blockdiagram

A terület tektonikáját két nagyobb törési rendszer, a Red River- (vagy Vörös folyó-) Fault Zone és a Tan-lu Fault Zone befolyásolja (LA, 2008). A különleges karsztformák kialakulási helyét és irányultságát főként ez a két törésrendszer határozta meg. A horizontális mozgásokon kívül vertikális mozgások is mérhetőek a területen, amik a negyedidőszakban voltak a legintenzívebbek. A differenciáló szerkezeti mozgások határozták meg, hogy mely területeket érintették a többször is bekövetkező tengerelöntések. A Ha Long-öböl ma ismert képéhez a kisebb lemezblokkok eltérő sebességű, intenzitású süllyedése-emelkedése járult hozzá. A tengerelöntések leginkább az alacsonyabban fekvő, illetve intenzívebb süllyedésű/gyengébb emelkedésű területeket érintették.

A DNy-ÉK irányú keresztmetszéven jól látszik, hogy a Red River törési rendszerrel párhuzamosan (ÉNy-DK-i irányban) alakultak ki a jelentősebb folyóvölgyek, jól alkalmazkodva a Cat Ba-sziget tektonikus szerkezetéhez. A szelvény és a völgyek találkozási pontjait különböző színű pöttyök jelölik (7. ábra).



7. ábra: DNy-ÉK irányú keresztmetszéven, a nagyobb völgyek jelölésével
Fig. 7. SW-NE Profile with large valleys



8. ábra: Az 50 m-nél hosszabb vízfolyások a Cat Ba szigeten és környékén
Fig. 8. The streams with length more than 50 m in the Cat Ba island and its surroundings

A Cat Ba-szigeten és környékén előforduló, 50 méternél hosszabb vízfolyásokat fehér színnel jelenítettük meg (8. ábra), ez a Global Mapper

15 program Generate Watershed eszközének segítségével történt. A folyók elhelyezkedése a mélyebb völgyekbe és közvetlenül a lapos, karsztos szigethegyek nélküli tengerpartra korlátozódik. Ennek magyarázata, hogy az öbölből kiemelkedő Cat Ba-lemezdarab felszínén főleg csúcs-halmaz (fengcong) típusú karszt alakult ki, amelynek a felszínét csak foltokban és főleg csak a völgyek és nagyobb karsztos mélyedések alját borítja vékony talajtakaró, ami csak nagyon szegényes felszíni vízfolyáshálózat kialakulását tette lehetővé. Sokkal jellemzőbbek a bűvópatakok, a fejlett felszín alatti vízhálózat, ami a lábbarangokon folyik keresztül és a barlangok kialakításában is központi szerepet vállal.

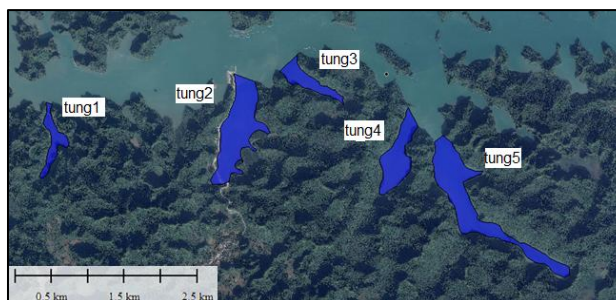
A térségre jellemző karsztos formák felismerése, lehatárolása, mérése

A Ha Long-öböl fenglin típusú karsztos formái közül az öbölre legjellemzőbb karsztos formák (ang és tung) lehatárolását és morfometriai jellemzőinek meghatározását állítottuk vizsgálataink középpontjába. A Global Mapper 15 szoftver a formák lehatárolására létrehozott poligonok jellemzőinek meghatározásához széles eszköztárral rendelkezik. Ahogy erről már korábban szó volt a *tungok* a tenger által elárasztott hajdani folyóvölgyek (LA, 2008). A Ha Long-öbölben összesen 57 tungot írtak le. Méretük változatos, közös jellemzőjük, hogy a tenger felé kijáráttal rendelkeznek, tulajdonképpen pici fjordoknak tekinthetjük őket, csak nem a jég alakította ki őket, hanem a tenger nyomult be a folyók torkolatán keresztül a völgyekbe. Hosszúak formájuk, viszonylag kis szélességük is jellegzetes, a tektonikus törésvonalak szabják meg a tungok irányultságát. Öt kiválasztott tungot poligonon határoltunk le (9. ábra), majd a Global Mapper 15 „Feature Information Tools” eszközének segítségével mértük meg a területüket.

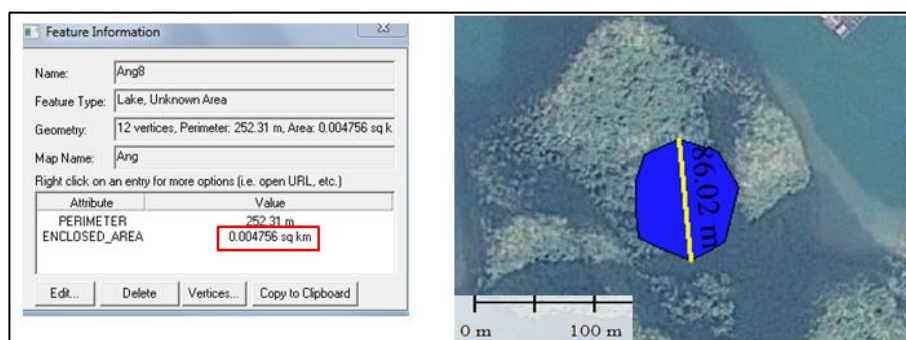
A másik jellegzetes forma az úgynevezett *ang*, ami egy zárt mélyedésben (dolina, cockpit) felgyűlt édesvízű vagy sósvízű tavat jelent. A tenger felé nem rendelkeznek kijáráttal, de ha a tengerszint közelében helyezkednek el a repedések mentén vagy barlangjáratokon keresztül hidrológiai kapcsolatban állhatnak a tengerrel (LA, 2008). Mélységük 1-3 méter között változik. A 10. ábrán néhány poligonon lehatárolt ang látható, közös jellemzőként jól megfigyelhető a viszonylag kis méret és a kerekded forma. Leginkább az apróbb szigetek belsejében találunk angokat, összesen 62 db-ot számoltak össze belőlük.

Területük:

1. 0,11 km²
2. 0,45 km²
3. 0,133 km²
4. 0,25 km²
5. 0,55 km²



9. ábra: Tungok
Fig. 9. Tungs



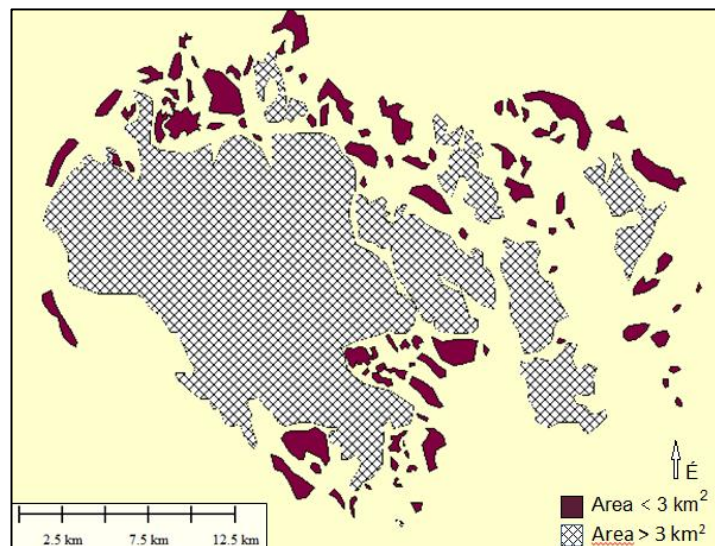
10. ábra: Az ángok morfológiai vizsgálata
Fig. 10. Morphometrical investigation of ángs

Egyéb térinformatikai vizsgálatok

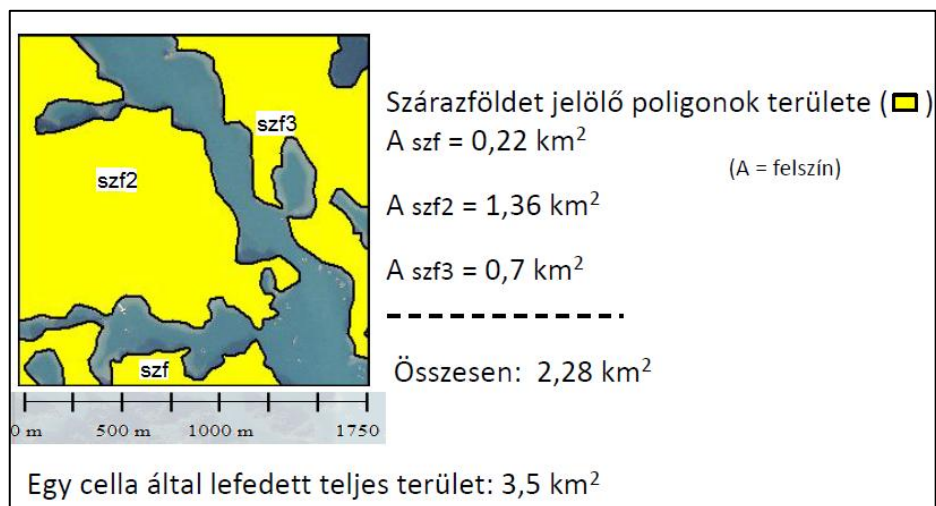
Általánosságban elmondható, hogy a Cat Ba körüli szigetek mérete és száma csökken a fő szigettől távolodva. A domborzatmodell alapján lehatárolt szigetek között mindössze 10 olyat találtunk a Global Mapper 15 kereső-funkciója segítségével (amely előzetesen megadott paraméterek alapján tud keresni poligonok, vonalak vagy pontok között), amely 3 km²-nél nagyobb területtel rendelkezik (11. ábra), ez a kiválasztott mintaterület pontosan 100 szigetének 10%-a. Ezen kívül, (bár az ábrán nincs feltüntetve), a szigetek 47%-a, azaz majdnem fele 0,5 km²-nél kisebb területtel bír.

A tenger és a szárazföld arányát az egész területre vonatkozóan az 12. ábrán részletezett módszer segítségével nagy munka lett volna meghatározni, ezért azt a megoldást választottuk, hogy egy 10x10-es gridhálót helyeztünk el a vizsgálandó területen. A teljes lefedett terület nagysága 350

km^2 volt, így egy cella által lehatárolt terület $3,5 \text{ km}^2$, amit fel tudtunk használni a területarányok kiszámításánál (12. ábra).



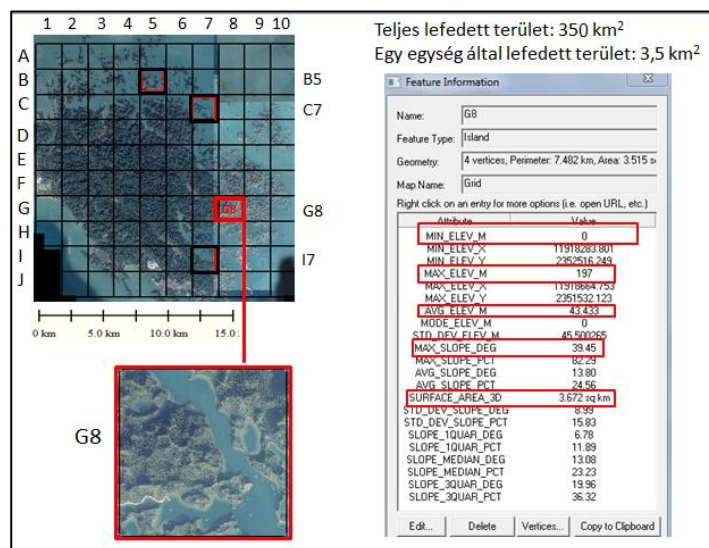
11. ábra: A 3 km^2 -nél kisebb és nagyobb területű szigetek
Fig. 11. Islands with area limit of 3 km^2



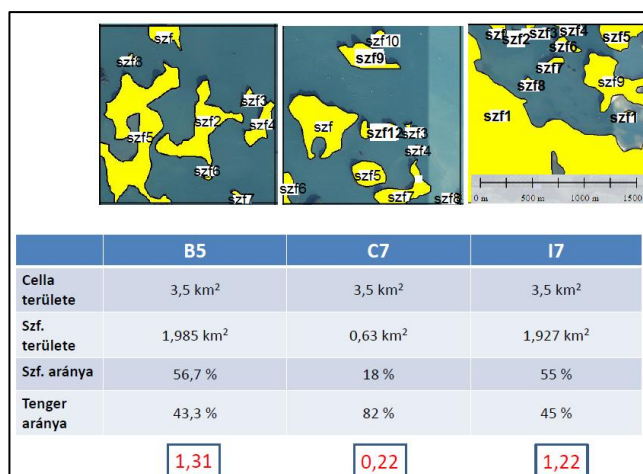
12. ábra: A tenger és a szárazföld arányának meghatározása
Fig. 12. The measurement of the territorial rate of the sea and the land area

A területarányok meghatározása egyszerű számolós módszeren alapult. A gridhálóból véletlenszerűen kiválasztott néhány cellában poligonok segítségével lehatároltuk a szárazfölddel fedett területeket, ezek területét a Global Mapper 15-ben található „*Information Tools*” funkció használatával tudtuk meghatározni. A cellán belüli szárazföldek területeit összeadva, majd az eredményt elosztva a cella teljes területével, megkapjuk a szárazföldi területek arányát a cella területéhez képest. Ezt 100-zal megszorozva a százalékos arányt is megtudhatjuk. A szárazföld százalékos arányát 100%-ból kivonva pedig természetesen a tengerrel fedett területek arányát kapjuk meg. A két értéket egymással elosztva az egymáshoz viszonyított arányt számíthatjuk ki (13, 14. ábra).

Ezt a számítást még 3 másik cella esetében is elvégeztük (14. ábra), a cellákat úgy kiválasztva, hogy egyaránt legyen köztük a Cat Ba sziget partvonalához közelebbi, illetve attól távolabbi cella is. Az eredmények ennek megfelelően nagyon változatosak voltak, viszont fontos tudnunk, hogy a számított értékek nem reprezentatív eredmények az egész területre vonatkozóan. Annyi azonban megfigyelhető, hogy a fősziget partvonalától távolodva az arány a tenger javára növekszik. Ez összefüggésben áll azzal a ténnyel, hogy a tengeri területeken már a fenglinek (toronykarsztok) a gyakoribbak, amelyek magányosan emelkednek ki a vízből. A Cat Ba-sziget melletti, ma jórészt tengerrel fedett blokk süllyedése intenzívebb volt a főszigetenél.

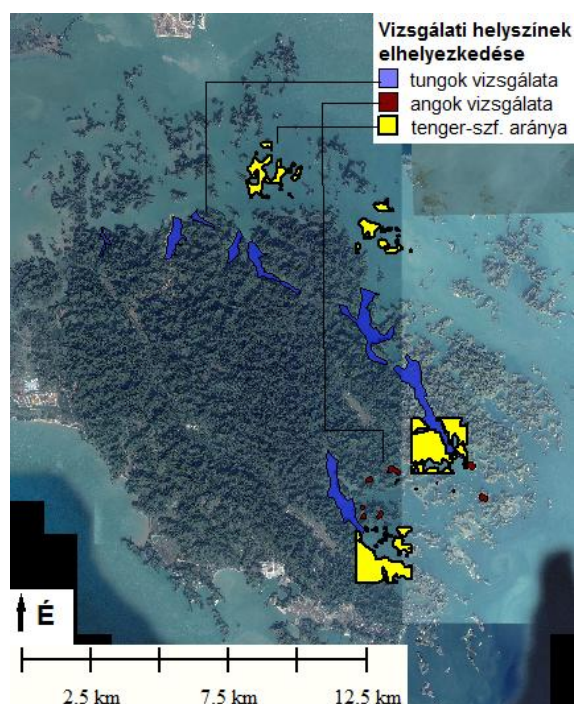


13. ábra: A gridháló elhelyezkedése a vizsgált területen
Fig. 13: The position of the grid in the study area



14. ábra: Kiválasztott cellák szárazföldi és tengeri területeinek aránya
Fig. 14: The ratio of the sea area and the land area in the chosen cells

A térinformatikai vizsgálatok áttekintő helyszínrajza a 15. ábrán látható.



15. ábra: A térinformatikai vizsgálatok helyszínei a Ha Long-öbölben
Fig. 15: The GIS sample areas in the Ha Long bay

Összefoglalás

A kiválasztott terület morfológiai és morfometriai jellemzőinek meghatározását a Global Mapper 15, valamint a Surfer 13 szoftverek segítségével végeztük a Jonathan de Ferranti domborzatmodell felhasználásával. Főleg az erre a területre jellemző trópusi karsztformák felismerésével és morfometriai jellemzőinek mérésével foglalkoztunk, meghatároztuk a tenger és szárazföld arányát néhány kiválasztott mintaterületen, illetve a tektonikai preformáció mértékét, a szerkezeti vonalaknak a felszínformákra, illetve a vízhálózatra, völgyekre gyakorolt hatását próbáltuk meghatározni GIS módszerekkel. A Ha Long-öböl karsztos formáinak, szigeteinek többsége a fenglin kategóriába tartozik, így vizsgálatainkban az öbölre jellemző karsztos formák (ang és tung) lehatárolása, mérése került előtérbe. A terület tektonikáját befolyásoló két nagyobb törésrendszer, a Red River Fault Zone és a Tan-lu Fault Zone nyomait a formák irányultságának megfigyelésével, keresztshelvények vizsgálatával, valamint a vízhálózat megrajzolásával igyekeztünk kimutatni. A tenger és a szárazföld területarányának meghatározása a vizsgált területre elhelyezett, a valóságban 1 km-es oldalhosszúságú cellákból álló gridháló segítségével történt. A szigetek méretének meghatározásához poligonokkal határoltuk le a területüket, és az alkalmazott szoftver segítségével számoltuk ki a területüket.

IRODALOM

- BALÁZS D. (1961): A Dél-kínai-karsztvidék természeti földrajza – Földrajzi Közlemények 9. 4. pp. 327-346.
- BALÁZS D. (1968): Karst Regions in Indonesia – Karszt- és Barlangkutató, Volume V., Globus Nyomda, Budapest, 61 p.
- BALÁZS D. (1971): Intensity of the Tropical Karst Development Based on Cases of Indonesia – Karszt- és Barlangkutató, VI., Globus Nyomda, Budapest, 67 p.
- BALÁZS D. (1986): Kína karsztvidékei. Karszt és Barlang 2. pp. 123-132.
- FORD D.C. – WILLIAMS P. (2007): Karst Hydrogeology and geomorphology – John Wiley and Sons., West Sussex, 562 p.
- HOANG THAN THUY (1973): Karsztos szigethegyek Észak-Vietnamban – Karszt és Barlang I-II. pp. 13-16.
- HORVÁTH G. – MÓGA J. – LEÉL őrSSY SZ. – ZÁMBÓ L. (2006): Karsztos tájak leromlása (degradációja) kínai karsztokon (Degradation of karst landscapes on Chinese karst areas). Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány

- Ilona professzor asszony tiszteletére – Táj, környezet és társadalom, SZTE Éghajlati és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, pp. 281-291.
- JAKUCS L. (1971): A karsztok morfogenetikája – Akadémiai Kiadó, Budapest, 310 p.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I. (2009): A karsztok ökológiai rendszere – JATE Press, Szeged. 122 p.
- KUBASSEK J. (1985): Trópusi karsztvidékek Thaiföldön – Karszt és Barlang I-II. pp. 39-46.
- LA THE PHUC (2008): Geoheritage of East and Southeast Asia - Geoheritage of Vietnam – In: MOHD SHAFEEA LEMAN, ANTHONY REEDMAN, CHEN SHICK PEI. (edit.): Geoheritage of East and Southeast Asia – Ampang Press, Kuala Lumpur. pp. 251-295.
- LE DUC AN (1972): Methodology for geomorphological mapping of the North Vietnam based on morphostructure and morphosculpture interpretation – Abstract of Doctor thesis, Natural Library, Ha Noi, 22 p.
- LE DUC AN (1996): Oscillation of sea level in Holocene of the Vietnam continental shelf – Jour. Earth Sciences, 18(4), pp. 365-367.
- MÓGA J. (1982): Karsztos toronyhegyek Nyugat-Malaysiában – Karszt és Barlang II. pp. 93-96.
- RÁDAY Ö. (1976): Preliminary partial report on the karsthydrogeological research in the Vietnamese Democratic Republic — VITUKI, 4. kötet.
- SWEETING, M. M. (1995): Karst in China. Springer Verlag, Berlin, 265 p.
- TRAN VAN TRI – TRAN DUC THANH – WALTHAM, T. – LE DUC AN – LAI HUY ANH (2003): The Ha Long Bay World Heritage: outstanding geological values – Geology, A/ 7-8, 2003, pp. 6-20.
- TRAN VAN TRI (editor in chief), (2003): Geology of Vietnam – The North part. Sci. Tech. Publish. House. Ha Noi, 353 p.
- VERESS M. (2004): A karszt – BDF Természetföldrajzi Tanszéke, Szombathely, Szombathely, 215 p.
- WALTHAM T. – HAMILTON SMITH E. (2004): Ha Long Bay – In Gunn J. (ed) Encyclopedia of Caves and Karst Science, Routledge, New York & London., pp. 413-414.
- WALTHAM T. (1998): Limestone karst of Ha Long bay, Vietnam – Eng. Geol. Rep., 806, pp. 1-14.
- WALTHAM T. (2000): Karst and caves of Ha Long Bay, a World Heritage Site of international significance – Intern. Caver, pp. 24-31. Swindon, UK.

WALTHAM, T. (2008): Fengcong, fenglin, cone karst and tower karst – Cave and Karst Science, 35 (3), pp. 77-88.
YUAN DAOXIAN (1991): Karst of China – Geol. Publ. House, Beijing, China, 230 p.