

Válasz opponensi bírálatra

Opponens: Kürti Jenő egyetemi tanár, az MTA doktora
ELTE, Biológiai Fizika Tanszék

**MTA értekezés címe: „Szén nanoszerkezetek mint trivalens poligonhálózatok
modellezése és mechanikai szimulációi”**

Szerző: Zsoldos Ibolya egyetemi docens, PhD
Széchenyi István Egyetem
Anyagtudományi és Technológiai Tanszék

Tisztelt Kürti Professzor Úr!

Mindenek előtt megköszönöm a bírálatot, az értékeléssel végzett munkát, fáradozást, amely nagy segítség az értekezés szakterületének fejlődéséhez, ezzel párhuzamosan a saját fejlődésemhez is. A negatív kritikák ellenére is köszönettel tartozom, hiszen a szakmai előrehaladást ez különösen hatékonyan motiválhatja. Az alábbiakban adok választ az észrevételekre.

1) Az első témához, az Aboav-paraméterhez kapcsolódó válaszok

1a) A második tézispont valóban könnyen sejthető, ha figyelembe vesszük az Aboav-paraméternek az egyenes meredekségével való kapcsolatát. Az egyszerű állításokat utólag mindig könnyen látjuk magától értetődőnek. Az Aboav-törvény elég hosszú ideje ismert volt már, és ezt az egyszerűnek tűnő állítást mégsem vette észre, nem mutatta meg senki. Az Aboav-törvényt szemcsés anyagszerkezeteken, ferromágneses doménszerkezeteken, habokon, biológiai szövetmintázatokon stb. mutatták meg. Ezekben a mintázatokban a kicsi és a nagy sejtek egymással elkeveredve fordultak elő, az Aboav-paraméter értéke mindenhol 1-hez volt közel. Korábban csak azt kívántam megmutatni, hogy az ilyen sejttrendszerek csak egy szűk halmazát képezik az összes lehetséges poligonhálózatnak, és, hogy elvben más tulajdonságú rendszerek is léteznek, ahol az Aboav-törvény szintén igaz, az Aboav-paraméter pedig elvileg nemcsak 1-hez közeli érték lehet, hanem széles intervallumban vehet fel értékeket. A kicsi és a nagy sejtek csoportjának szétválasztása először nekem is kicsit „játéknak” tűnt. A dolognak azonban mégis van elvi jelentősége. Hiszen vannak olyan anyagok, amelyek szerkezete sejttrendszerral írható le, ahol a kicsi és a nagy sejtek valóban elkülönülő csoportokban fordulnak elő, és ezek az anyagok a szén nanocső elágazások. Az Aboav-törvényhez kapcsolódó tézisek a trivalens sejttrendszerek ismeretanyagában a korábbi ismeretek mellett feltétlenül, alapvetően új eredmények.

1b) Az első tézisponthoz az alábbiakban részletezem a lineáris regresszióból történő számolást. Ebből kiderül, hogy jók voltak az értekezésben mutatott összefüggések és az első tézisben megadott számértékek.

Aboav-paraméter számítása:

Legyen $m(n)$ az n -oldalú sejt (poligon) közvetlen szomszédjainak átlagos oldalélszáma.

Közelítsük lineáris összefüggéssel ($An+B$ -vel) adott sejt közvetlen szomszédjainak oldalélszám összegét:

$$nm(n) = An + B \quad (1)$$

A négyzetesen legjobb közelítés szerint az alábbi eltérések négyzetösszegének minimumát keressük:

$$F = \sum_n p_n [nm(n) - (An + B)]^2 = \min. \quad (2)$$

ahol p_n az n -oldalú, topológiailag azonos környezettel rendelkező sejtek aránya a sejtrendszerben.

A minimumkeresés miatt:

$$\frac{\partial F}{\partial A} = 2 \sum_n p_n [nm(n) - (An + B)] (-n) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial F}{\partial B} = 2 \sum_n p_n [nm(n) - (An + B)] (-1) = 0 \quad (4)$$

(3) és (4) egyenletekben tagonként vesszük az összegzést:

$$\sum_n p_n n^2 m(n) - A \sum_n p_n n^2 - B \sum_n p_n n = 0 \quad (5-6)$$

$$\sum_n p_n nm(n) - A \sum_n p_n n - B \sum_n p_n = 0$$

Figyelembe vesszük, hogy a szummás tagok átlagértékeket jelentenek:

$$\langle n^2 m(n) \rangle - A \langle n^2 \rangle - B \langle n \rangle = 0 \quad (7)$$

$$\langle nm(n) \rangle - A \langle n \rangle - B = 0 \quad (8)$$

Ha (8)-ból kifejezzük B-t, és behelyettesítjük (7)-be, akkor:

$$\langle n^2 m(n) \rangle - \langle nm(n) \rangle \langle n \rangle - A(\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2) = 0 \quad (9)$$

Írjuk fel az átlagos oldalélszám körüli szórásnégyzetet (második momentumot):

$$\mu_2 = \sum_n p_n [n - \langle n \rangle]^2 = \sum_n p_n [n^2 - 2n\langle n \rangle + \langle n \rangle^2] = \langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2$$

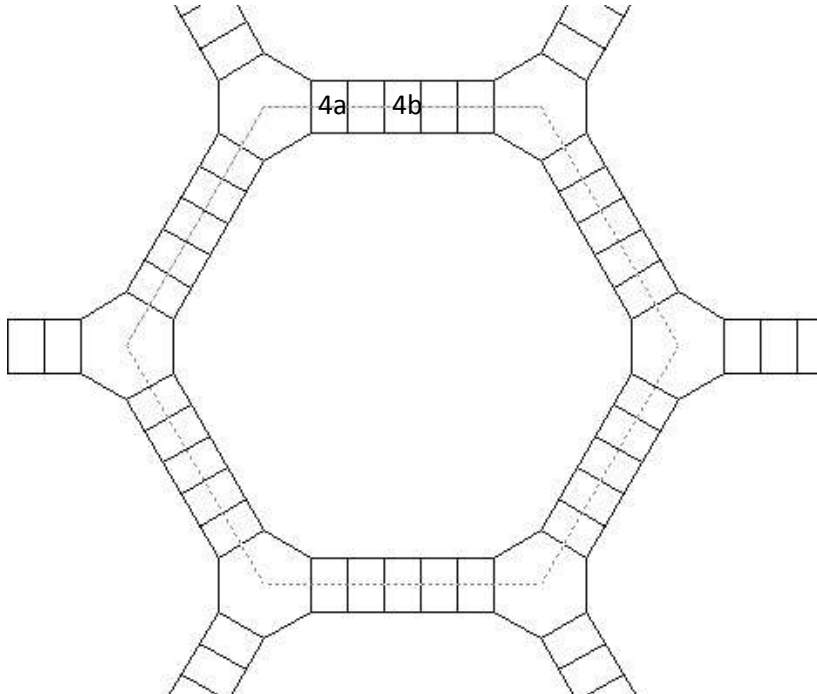
Ezt figyelembe véve fejezzük ki (9) egyenletből A-t:

$$A = \frac{\langle n^2 m(n) \rangle - \langle n \rangle \langle nm(n) \rangle}{\mu_2}$$

Az Aboav-paraméter: $a = \langle n \rangle - A$, tehát:

$$a = \langle n \rangle - \frac{\langle n^2 m(n) \rangle - \langle n \rangle \langle nm(n) \rangle}{\mu_2}$$

Az Aboav-paraméter felső korlátja (=4) trivalens rendszerek esetében:



Legyen „N” a középső, legnagyobb sokszög oldaléleinek száma, tehát a középső poligon egy N-szög.

A szaggatott vonallal körülhatárolt, hatszög alakú elemi cellára végezzük az Aboav-paraméter számítását. Mivel ez az elemi cella ismétlődik a mintázatban, az elemi cellára vonatkozó átlagértékek érvényesek az egész rendszerre.

Kétféle négyszög van szomszédosság szerint, ezeket „4a” (hatszögek melletti négyszögek) és „4b” (4-szögek közötti négyszögek) jelöléssel különböztetjük meg. Figyelembe kell venni, hogy az elemi cellába a hatszögeknek csak harmada, a négyszögeknek pedig csak a fele esik bele.

Az Aboav-paraméter számításához szükséges mennyiségek részletezése az n-oldalú poligonok esetében:

n	k (db)	$p_n=k/\sum k$	$(6-n)^2$	$nm(n)$	$n^2m(n)$
4a	6	12/N	4	2N+10	8N+40
4b	(N-18)/2	(N-18)/N	4	2N+8	8N+32
6	2	4/N	0	3N+12	18N+72
N	1	2/N	(6-N)²	4N+12 (6x6+4(N-6))	4N²+12N
	$\sum k = N/2$				

$$\mu_2 = \sum_{n=4}^N (6-n)^2 p_n = 4 \frac{12}{N} + 4 \frac{N-18}{N} + (6-N)^2 \frac{2}{N} = \frac{2N^2 - 20N + 48}{N}$$

$$\langle nm(n) \rangle = (2N+10) \frac{12}{N} + (2N+8) \frac{N-18}{N} + (3N+12) \frac{4}{N} + (4N+12) \frac{2}{N} = \frac{2N^2 + 16N + 48}{N}$$

$$\begin{aligned} \langle n^2 m(n) \rangle &= (8N+40) \frac{12}{N} + (8N+32) \frac{N-18}{N} + (18N+72) \frac{4}{N} + (4N^2+12N) \frac{2}{N} = \\ &= \frac{16N^2 + 80N + 192}{N} \end{aligned}$$

$$a = 6 - \frac{\frac{16N^2 + 80N + 192}{N} - 6 \frac{2N^2 + 16N + 48}{N}}{\frac{2N^2 - 20N + 48}{N}} = 6 - \frac{2N^2 - 8N - 48}{N^2 - 10N + 24}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} a = 4$$

A bemutatott levezetés alátámasztja a tézisben foglaltak helyességét, ezért tisztelettel kérem Kürti Professzor Urat álláspontjának módosítására, és a tézis elfogadására.

2) A második témához, a szén nanocsövek elágazásaihoz kapcsolódó válaszok

Valóban nem vizsgáltam a királis nanocsövek esetét. Úgy gondolom, hogy a csempés módszer alkalmas a királis nanocsövek elágazásainak a modellezésére is, ez lehet a témának az egyik folytatása.

Hogy mennyire tekinthető játéknak a szén nanocső elágazások modellezése, arra a következő tudom válaszolni: bebizonyították, hogy a nanocső elágazások halmazára új nanoelektronikai eszközök családja épülhet. A megvalósítás legnagyobb akadályja az, hogy a szén nanocsövek és az elágazások tömeges előállítására egyelőre nincs jól tervezhető, jól irányítható módszer, sőt ma még a véletlen sokaságokból való válogatásra sincs megoldás. A grafén nanolitográfia területén már kialakulóban vannak kézben tartható módszerek különböző elágazások, hálózatok kivágására (Tapasztó et. al., Nature Nanotechnology **3**, 397, 2008; Nemes-Incze et. al., Nano Research **3**, 110, 2010; Areshkin, et. al., Nanoletters **7**:11, 3253-3259, 2007; Wu et. al., Nano Research, **3**, 16-22, 2010; Jiao et. al., Nature **458**, 877-880, 2009). A grafén nanoszalagok elágazásainál, hálózatánál a definiálatlan, instabil szélek jelentik az egyik problémát, és ezért sem lehet elfelejteni a nanoelektronikai hálózatok eseténél a szén nanocső elágazásokat, hiszen az utóbbiak esetében nincsenek instabil szélek.

A szén nanocső elágazások vizsgálatainak igen nagy aránya alapul elméleti kutatáson. Gyakran van szükség modellek elkészítésére. Ennek bizony tekintélyes időigénye van, legtöbbször igen fáradságos, nem könnyű feladat.

A modellezésnek általában is (így a szerkezeti modellezésnek is) nagy jelentősége van az elméleti kutatásokban mindig. Pl. Penrose csempés pakolásai óriási tiszteletnek örvendenek a kvázikristályok szerkezetének megértése területén. Amíg nem fedezték fel az igazi kvázikristályokat, addig a Penrose-féle csempés pakolásokat is nevezték néhányan matematikai játéknak.

A 2/b témakörnek ismét elvi jelentősége van, hiszen arra mutat példákat, hogy a csempés módszer alkalmas egyenes nanocsöveknek görbült felületekhez való illesztésére is.

A 2/c témakörben definiált nanokörök természetesen lehetnek reálisak. Ma még nem lehet megmondani, hogy lesz-e és mikor lesz megfelelő tömeggyártási módszer szén nanocső (vagy grafén) alapú nanoelektronikai eszközök, hálózatok előállítására (így az értekezésben mutatott nanokörök előállítására), hiba lenne azonban kizárni ennek a lehetőségét.

3) A harmadik témához, az atomi erők számításához kapcsolódó válaszok

A Brenner-potenciál paramétereit szénhidrogénekre vonatkozó kísérleti adatokból kapták, amelyek terheletlen szerkezetek (szénhidrogének) egyensúlyi helyzetére vonatkoznak. Tehát a Brenner-potenciál a terheletlen állapot egyensúlyi helyzetének környékén írja le jól a rendszereket.

Ha elhagyjuk a Brenner-potenciálból a levágó függvényt, akkor az egyensúlyi helyzetnek a nem egyensúlyi helyzetekre való extrapolációját kapjuk, ennek a pontosságára azonban már nincs kísérleti bizonyíték.

Ma még nem lehet biztosan megmondani, hogy melyik megoldás jobb a terhelt állapotokra vonatkozó atomi erő számításoknál: egy extrapolált, kísérleti bizonyíték nélküli függvényt

alkalmazni, vagy egy olyan függvényt, amely, ha most még csak becsléssel is, de illesztve van kísérleti eredményekhez.

Az értekezésben ismertetett munka első alkalommal foglalkozott a terhelt állapotoknak kísérlethez illesztett matematikai leírásával, ez akkor is tudományos érték, ha most még vannak az illesztésben bizonytalanságok.

3a) A levágó függvény hatásának kezdete

Ha nem a potenciál minimumához tesszük R_1 -et, akkor az atomi erő görbéjén meredekségváltozás lesz. Nem tudunk olyan jelenségről, amely indokolna egy ilyen meredekségváltozást.

A potenciál minimumánál a második derivált szerinti illesztés elhagyása valóban hiányosság, köszönöm az észrevételt, figyelmeztetést. Ha viszont illeszttek a második derivált szerint is, akkor a túl sok feltétel miatt elbonyolódik matematikailag a probléma, nem láttam, hogy ebben az esetben milyen függvényt lett volna célszerű illeszteni. Polinomokkal újabb indokolatlan meredekségváltozások léptek be. Szögfüggvények (amelyek célszerűen alkalmazhatók fizikai jelenségek leírásánál) már a második derivált feltétele nélkül is alkalmatlanok voltak erre a feladatra matematikailag.

A második derivált hiányával kapcsolatos problémánál maradok annál a magyarázatnál, hogy a húzásszimulációban terhelt állapotokat vizsgálok, a potenciálfüggvény minimumhelyétől távoli szakaszon, ahol ez a probléma nem jelentkezik.

3b) (3.18-3.28) képletek „d” paramétere

Nagyon köszönöm az észrevételt! Sajnálom, hogy annak idején ez a tévedés benne maradt a cikkben is, és most még az értekezésben is. Hibás, főleg a „d” paraméter használata, és valóban csak a $d=0$ esetnek van értelme. Mentségemre csak annyi szolgál, hogy a számításokat a $d=0$ esetre végeztem el, és ezt megemlítettem a cikkben és az értekezésben is.

3c) Kísérlethez való illesztés

Amikor a saját algoritmust egyenes nanocsöveken teszteltem, valóban Belitschko és Duan számításaihoz esett legközelebb a saját eredmény, ha ugyanolyan szerkezeteken számoltam, mint a 3.1. táblázatban felsorolt előzetes munkák. A 3.1. táblázatban összefoglalt szakítószilárdság értékekben elég nagy a szórás. A saját számítások alapján azt valószínűsítem, hogy nagyságrendileg Belitschko, Duan és jómagam találtuk el helyesen a szén nanocsövek szakítószilárdságának nagyságrendjét. Van azonban különbség is, nálam 30-50%-kal nagyobb értékek jöttek ki, nyilvánvalóan azért, mert Demczyk méréséhez illesztettem az atomi erő görbét. Mérnökként azt mondhatom, hogy ezek a számítási eredmények jó becslések a mai ismeretek szintjén, amikor még nincs sem olyan mérés, sem pedig olyan elméleti leírás, amely a terhelt szén nanoszerkezetek viselkedését bizonyítottan egészen pontosan meghatározza.

Demczyk mérésénél ismert ugyan a maximális erő, de a szerkezetről csak annyit tudunk, hogy 12,5 nm átmérőjű többfalú szén nanocső. Ezért feltételezéseket tettem, becsléseket vettem figyelembe a számításokhoz.

Feltételeztem, hogy a koncentrikus csőfalak közötti távolság a grafitrétegek közötti távolsággal (0,34nm) azonos, vagy ahhoz nagyon közeli érték. Cikkcakk nanocsövek esetében kívülről befelé haladva kb. (160,0), (150,0), (140,0), (130,0), ..., (10,0) feltekerési vektorral rendelkező nanocsövek jelenlétét feltételeztem a szerkezetben. Ding et al. Phys.Rev.B 66, 073401 (2002) munkája szerint kalkuláltam a fenti sorozaot.

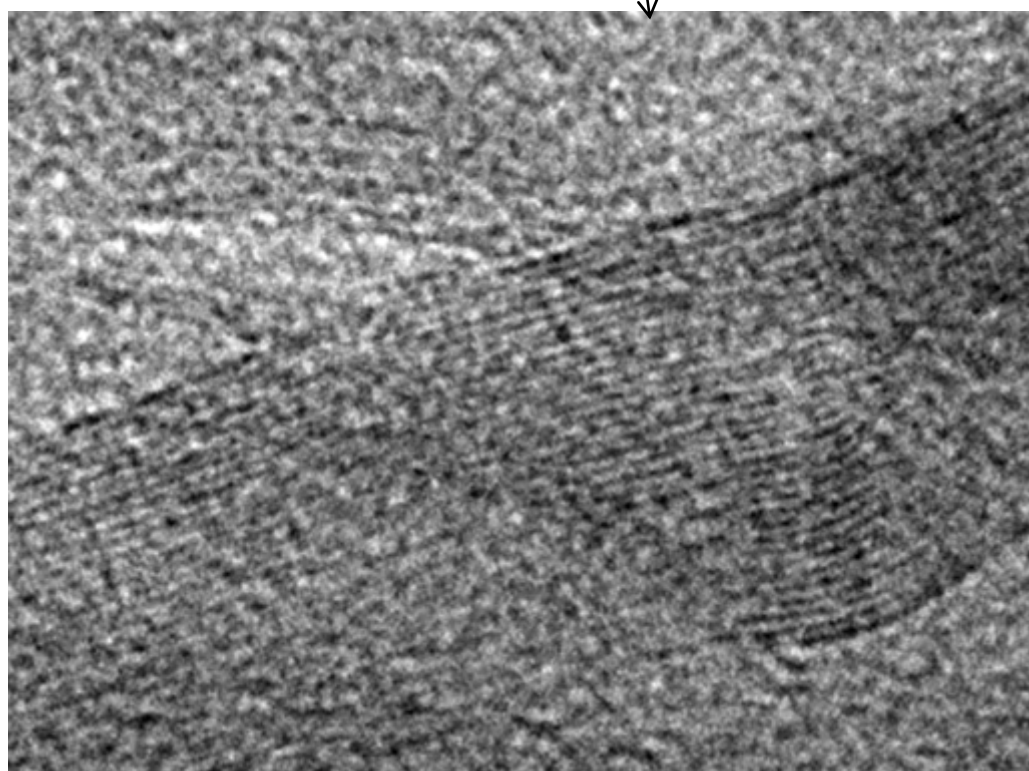
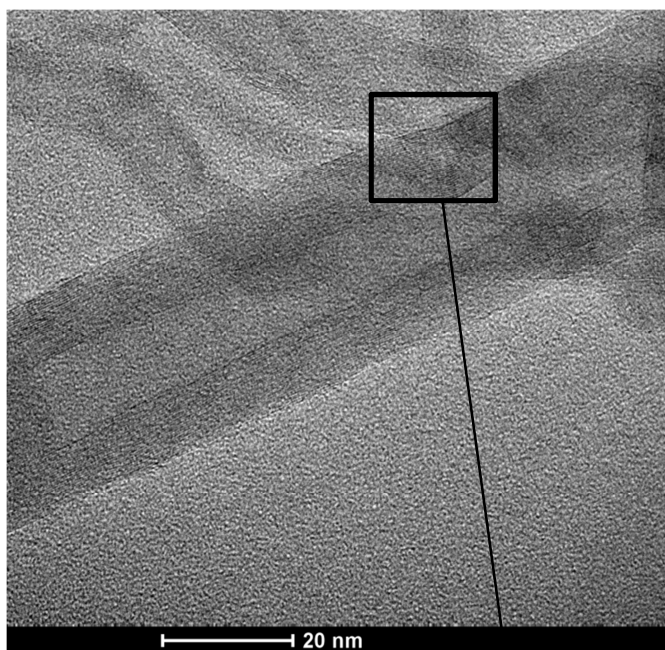
Kürti Professor Úrnak igaza van abban, hogy a felírt sorozaot másképpen is lehet, célszerű számolni. Amikor a feltekerési vektorból visszszámolom a csőtengellyel párhuzamos kötések számát, akkor ismerni kell a grafénon belül a szomszédos szénatomok közötti kötés hosszát. Ezt a kötéshosszt a szakirodalomban kis eltérésekkel lehet megtalálni. Pl. a Brenner-potenciál szerint 1,42Å jön ki, a Desktop Molecular Modeller szoftver 1,2 Å-t használ. Ha az előbbi értékkel számolok, akkor a hatszögmintázatot figyelembe véve a 12,5 nm átmérőjű külső cső egy metszetében a tengellyel párhuzamos kötések száma: $12,5\pi/0,142/\sqrt{3}=159,92\approx 160$, tehát így a külső cső (160,0)-ra jön ki. A következő csőnél ugyanez a becslés: $(12,5-2\times 0,34)\pi/0,142/\sqrt{3}=150,91\approx 151$. Valóban, így nem 10, hanem 9 a különbség az indexek között. (Ugyanez jön ki akkor is, ha nem kör, hanem sokszög keresztmetszetből számolunk.)

Abban is igaza van Kürti Professor Úrnak, hogy nem valószínű, hogy a többfalú nanocsövek teljesen teli vannak pakolva kisebb átmérőjű csövekkel.

Az alábbi ábrán a Pannon Egyetem új nanocső reaktorában előállított mintáról készült TEM felvételt mutatom. Ennek a többfalú nanocsőnek az átmérője kb. 30nm. Valóban nincs teljesen telepakolva koncentrikus csövekkel.

Kinagyítottam egy részletet a csőfalakból. Elég jól kivehetők a párhuzamos csőfalak, 32-33 réteget sikerült számolnom. Kívülről befelé haladva kb. a kétharmad részt foglalják el a párhuzamos csövek, a belső kb. egyharmad rész üres.

Visszatérek Demczyk kísérletéhez. Nem tudom, hogy itt a többfalú nanocső hány rétegű volt. Most azonban újragondolom a becslést. 9-nek veszem a szomszédos indexek különbségét, legyen a cső belsejének a betöltöttsége kb. kétharmad. Ha (160,0)-tól indulok és minden lehetséges réteg benne van a csőben, akkor 18 réteg van egymáson belül. A kétharmados betöltöttség 12-13 réteget jelent.



Többfalú szén nanocsőről készült TEM felvétel. Szentes Adrienn: Szén nanocső kompozitok előállítása és vizsgálata, PhD értekezés, Pannon Egyetem, Veszprém, 2012

Az alábbi táblázatban kívülről befelé haladva sorszámoztam a csöveket 1-től 18-ig. A csőtengellyel párhuzamos kötések száma (egy keresztmetszetben) a harmadik oszlopban található. A hatodik rétegnél kezdtem számolni az összes kötést (az első rétegtől az n-edikig szummáztam a 3. oszlopot), ezt a negyedik oszlopban látjuk. Látszik, hogy a kötések száma a

12-13. rétegnél, azaz kb. kétharmados betöltöttségnél éri el az értekezésben becsült kötések számát. Az utolsó oszlopban tüntettem fel, hogy mekkora az egy kötésre jutó erőnek, azaz az atomi erőnek az eltérése az értekezésben becsült értéktől.

sorszám	feltekerési vektor	kötések száma egy rétegben	összes kötés	egy kötésre jutó erő [nN] (atomi erő: 18μN/kötésszám)	eltérés (%)
1	(160,0)	160			
2	(151,0)	151			
3	(142,0)	142			
4	(133,0)	133			
5	(124,0)	124			
6	(115,0)	115	825	21,82	64,0
7	(106,0)	106	931	19,33	45,4
8	(97,0)	97	1028	17,51	31,7
9	(88,0)	88	1116	16,13	21,3
10	(79,0)	79	1195	15,06	13,3
11	(70,0)	70	1265	14,23	7,0
12	(61,0)	61	1326	13,57	2,1
13	(52,0)	52	1378	13,06	1,8
14	(43,0)	43			
15	(34,0)	34			
16	(25,0)	25			
17	(16,0)	16			
18	(7,0)	7			

Ezzel a kalkulációval tehát 12-13 rétegnél kaptam majdnem ugyanazt, ami az értekezés szerint volt kalkulálva. Ha csak 10 vagy 11 rétegű volt a cső, akkor 7 vagy 13% volt a hiba, ha pedig csak félig volt betöltve a cső (9 vagy 10 réteg), akkor 13 vagy 21% volt a hibája a becslésnek az értekezésben.

Érdemes megfigyelni, hogy ha kisebb rétegszámot feltételezünk, akkor az atomi erő nagyobb értékre jön ki. Az eredeti becslésemnél is már nagyobb érték jött ki az atomi erőre, mint amikor a Brenner-potenciált a levágó függvény nélkül használták. Tehát lehet, hogy a valóságos eltérés az eredeti Brenner-potenciállal való számolástól még nagyobb lesz.

Összességében, újra átgondolva a kalkulációkat, én magam úgy értékelem, hogy a valóságot nagyságrendileg jól közelítjük, nem lehet túl nagy az eltérés a valóságos atomi erőktől. Egészen pontosan akkor lehet majd számolni, amikor az atomi erőket egy pontosan definiált szerkezeten tudják mérni. Ezt a tényt hangsúlyoztam az értekezésben is. Véleményem szerint már nem sok hiányzik ahhoz, hogy a méréssel történő pontos meghatározást megoldják.

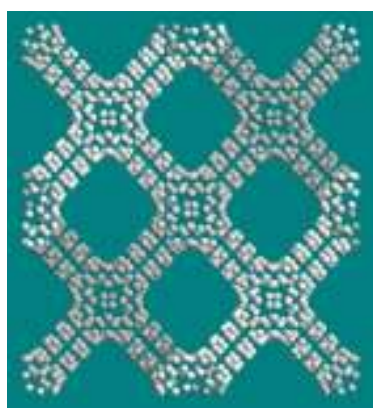
(A Demczyk-féle mérés pontosságát ebben a fejtegetésben nem vettem figyelembe, csak az elméleti számításokat, becsléseket elemeztem.)

3d) Szupergyémánt szerkezet húzásszimulációja

Az atomi erők számítására korábban egyenes szén nanocsöveken végeztek húzásszimulációkat. Saját algoritmussal arra kívántam példát mutatni, hogy a húzásszimuláció elvégezhető komplikáltabb szerkezeteken is. Annak ellenére, hogy az atomi erőkre még csak közelítő becslést tudunk mutatni, a szerkezetek viselkedése meghatározható, a szilárdsági értékek nagyságrendileg jól becsülhetők. A szupergyémánt szerkezet megépítését a mai ismeretek szerint magam is kicsit még a valóságtól távolinak tartom. Azt azonban meg lehet mutatni egy ilyen szerkezeten, hogy amíg az egyenes szén nanocsövek a különlegesen jó szilárdsági tulajdonságot csak tengelyirányban mutatják, addig a nanocső hálózatok több irányban is produkálni tudják ezt a kiváló tulajdonságot.

A húzás folyamatáról valóban írhattam volna több diszkussziót az értekezésben! Ezt most igyekszem pótolni.

A folyamat első szakaszában a szerkezeten belül az összes kötés azonos arányban nyúlik, és az egész szerkezet is szimmetrikusan, egyenletesen nyúlik. Ez az első szakasz kb. a szerkezet 25-26%-os nyúlásáig tart. Ebből a szakaszból mutatom a lenti ábrán a pillanatfelvételeket. Ennek a szakasznak az említése és bemutatása hiányzik az értekezésből.



10% nyújtás után



20% nyújtás után

Az egyenletes nyúlás szakaszának a végén az történik, hogy az egyenes csőszakaszokon (nálam a felső részen) néhány kötés elszakad, ezeken a helyeken kezd károsodni a szerkezet. Innentől kezdve azonban a tönkremenetel környékén lényegesen nagyobb arányú a nyúlás, ezen kívül a tönkremenetel helyétől távolodva az atomok elkezdnek visszarelaxálni az eredeti kötéshosszok elérése felé, és emiatt lesz aszimmetrikus a szerkezet, a húzásszimuláció második szakaszában. Ebből a tönkremeneteli szakaszból mutattam az értekezésben a három pillanatfelvételt, 28, 40 és 55% nyúlás után. (Az értekezésben az ábra aláírásai sajnálatos módon lemaradtak.)

A visszarelaxálás azért van, mert az atomi erő görbe lefutása szerint (a Brenner-potenciál szerint is) a szén nanoszerkezeteknek rugalmas viselkedést kell mutatniuk. Ez egybevág a szén nanocsövekre vonatkozó összes eddig ismert kísérlettel és elméleti ismeretekkel.

A válaszban megadott gondolatmenettel igazolni szándékoztam, hogy a jelenlegi ismeretek szintjén jó pontossággal határoztam meg adott nanocső hálózat szakítószilárdságát, amely új tudományos eredménynek tekinthető.

A habitusvizsgálattal kapcsolatos megjegyzésre a következőket válaszolom: matematikus mérnök vagyok, értekezésemet a műszaki és fizikai tudományok határterületéről írtam. A szén nanoszerkezetek műszaki alkalmazásba vonása megkezdődött, néhány alkalmazási terület már ma is létezik, és ezeknek a száma a jövőben várhatóan növekedni fog. A szakirodalom nagyon sok esetben tárgyalja a szén nanoszerkezeteket anyagtudományi folyóiratokban, ilyen helyeken publikáltam én is. Ezért adtam be értekezésemet az MTA Műszaki Tudományok Osztályára, a tudománymetriai értékeléshez az Osztály előírásainak megfelelően az MTMT adatbázisban rögzített adatok állnak rendelkezésre.

Bízom benne, hogy a válaszzal sok bizonytalanságot sikerült tisztáznom.
Végül ismét megköszönöm az értekezés bírálatával végzett értékes munkát!

Győr, 2012. március 8.

Zsoldos Ibolya PhD
egyetemi docens, tanszékvezető
Anyagtudományi és Technológiai Tanszék
Műszaki Tudományi Kar, Széchenyi István Egyetem
9026 Győr, Egyetem tér 1., zsoldos@sze.hu