

*Slovenská spoločnosť pre mechaniku  
pri SAV*

# **BULLETIN**

## **2009**

*ročník 9 - číslo 1*

## K 100. výročiu narodenia N.N. Bogoliubova (21.8.1909 –13.2.1992)



Nikolaj Nikolajevič Bogoliubov sa narodil v Nižnom Novgorode na Ukrajine vo vysoko vzdelanej rodine, z ktorej vzišli traja členovia akadémie vied. Jeho otec, Nikolaj Michailovič Bogoliubov bol prominentný duchovný, filozof a teológ, ktorý disponoval encyklopedickými vedomosťami z prírodných a spoločenských vied. Otec rozhodujúco ovplyvnil ranný vývoj matematických schopností Nikolaja Nikolajeviča.

Detstvo prežil na Ukrajine uprostred ťažkostí Občianskej vojny. To bol dôvod, prečo ukončil štúdium po siedmych rokoch výučby na ľudovej škole a nikdy viac nepokračoval v štúdiu na žiadnej inštitúcii. Avšak vo veku 13 rokov navštevoval matematické semináre, ktoré spočiatku viedol akad. D.A. Grave a po pol roku akad. N.M. Krylov, ktorý sa stal na dlhú dobu jeho vedeckým tátorom. Bogoliubovove práce (samostatné aj v spoluautorstve s Krylovom) napísané počas 15-tich rokov (1924-1939) sa týkali rôznych problémov čistej matematiky. Bogoliubov bol mimoriadne úspešný pri vytvorení priamych metód variačného počtu, za ktoré mu v roku 1930 udelila Bolonská akadémia vied Merlaniho cenu a v tom istom roku mu Prezídium Akadémie vied Ukrajiny udelilo hodnosť Doktor matematických vied honoris causa.

Technologický progres priniesol nové problémy v oblastiach rádio- a elektro-inžinierstva, mechaniky komplexných vibrujúcich systémov a leteckých konštrukcií. V r. 1932 Bogoliubov a Krylov začali vyvíjať úplne novú oblasť matematickej fyziky – teóriu nelineárnych vibrácií, ktorú nazývali nelineárnou mechanikou. Krylov a Bogoliubov vyriešili fundamentálny problém aplikácie poruchovej teórie na všeobecné nekonzervatívne systémy a vyvinuli nové asymptotické metódy nelineárnej mechaniky, umožňujúce získať nielen prvú ale aj vyššie aproximácie. Tieto metódy sú aplikovateľné nielen na periodické, ale aj na kvázi-periodické vibrácie. Ich hlavné výsledky v tejto oblasti boli publikované v monografii *Introduction to Nonlinear Mechanics* (1937), ktorej význam je evidentný z anglického prekladu v USA počas II. svetovej vojny (1943) a reedície v r. 1947. Asymptotické metódy boli použité na úlohy smerovej stability lietadiel ako aj na vibrácie a stabilitu prútov a rôznych inžinierskych konštrukcií. Bogoliubovove idey a fundamentálne výsledky v oblasti nelineárnej mechaniky sa stali základom moderných výskumných metód vo všeobecnej mechanike, mechanike kontinua, nebeskej mechanike, mechanike tuhých telies a gyroskopických systémov, v teórii stability pohybu, v teórii riadenia, ladenia,

stability, v mechanike kozmických letov, vo vibráciách mechanických systémov, v matematickej ekológii, a v iných oblastiach vedy a techniky.

Účasť na vývoji efektívnych metód nelineárnej mechaniky s rozsiahlou univerzálnosťou posunuli Bogoliubovove výskumné záujmy smerom k teoretickej fyzike. Už v článku z r. 1933 sa odvoláva na Heisenbergove vzťahy neurčitosti, o ktorých v tom čase málokto niečo vedel, a treba pripomenúť, že mladý autor nikdy nezískal žiadne špeciálne vzdelanie vo fyzike. Fundamentálna práca „On Fokker-Planck equations“, ktorú publikovali Bogoliubov a Krylov v r. 1939, v podstate formulovala program výskumu v oblasti teoretickej fyziky, ktorý determinoval Bogoliubovove vedecké práce v nasledujúcich 50 rokoch. Základnou myšlienkou tejto práce bola syntéza matematických a fyzikálnych reprezentácií vzájomne prepleteného popisu klasických a kvantových vlastností objektov prírody.

Evakuácia do Ufy a práca na problémoch súvisiacich s obranou mierne oddialili plnenie tohto programu. Avšak neboli to márne roky. V r. 1945 Bogoliubov študoval vplyv náhodných síl na harmonický oscilátor, pričom zaviedol a prvý použil myšlienku časovej hierarchie v štatistickej teórii ireverzibilných procesov. Bogoliubovova metóda postupných rovníc pre jedno- a viacčasticové distribučné funkcie je veľmi efektívna v modernej štatistickej mechanike rovnovážnych a nerovnovážnych procesov. Bogoliubov nahradil Boltzmannovu hypotézu molekulárneho chaosu zavedením okrajových podmienok na vysvetlenie poklesu korelácií a vypracoval metódu na výpočet členov vyššieho rádu v rozklade hustoty. Dve z jeho základných - prelomových monografií „*On Some Statistical Methods in Mathematical Physics*“ (1945) a „*Problems in the Dynamical Theory in Statistical Physics*“ (1946) mu vyniesli zvolenie za člena korešpondenta Akadémie vied Sovietskeho zväzu a udelenie Stalinovej ceny I. stupňa (1946).

V tom istom roku Bogoliubov predniesol prednášku „*To the theory of superfluidity*“ na mítingu Oddelenia fyzikálnych a matematických vied AV ZSSR, ktorá bola publikovaná v rôznych jazykoch a patrí medzi najcitovanejšie práce 20. storočia. Pôvodný úmysel bol len zdôvodniť predpoklady Landauovej fenomenologickej teórie supratekutosti a bola považovaná za fundamentálnu teóriu supratekutosti He-4. Avšak odvtedy bol jej význam prehodnotený vo viacerých aspektoch: (1) Bogoliubovova teória bola uznaná za fundamentálnu teóriu kondenzátov neideálnych systémov bozónov, kde jav supratekutosti je špeciálny problém; (2) táto teória je základom opisu systému fermiónových párov vrátane javu supravodivosti (Cooper-ove páry) pre široký rozsah teplôt a magnetických polí; (3) táto teória poskytla prvé príklady demonštrácie fundamentálnej úlohy koncepcie spontánne narušených symetrií, ktoré sa stali centrom pozornosti súčasných teoretických fyzikov; (4) bola tu rozvinutá teória druhého kvantovania systémov s nekonečným počtom stupňov voľnosti (zvlášť pri konečných teplotách) a boli vykreslené základné črty kvázi-stredných hodnôt, ktoré odvtedy našli mnohé aplikácie.

Bogoliubovove výskumné aktivity vyvrcholili v rokoch 1954-1960, po jeho zvolení za riadneho člena AV ZSSR a po návrate z utajených prác v objekte Arzamas-16, kde zohral rozhodujúcu úlohu v zabezpečovaní matematického poznania potrebného pre vyvinutie vodíkových zbraní a tiež pre vytvorenie stability plazmy v magnetickom poli pre návrh budúcich magnetických reaktorov termionukleárnej fúzie. Počas jedného týždňa od 14. do 19. apríla 1954 Bogoliubov predniesol 3 príspevky na rôzne témy, pričom ich intelektuálny obsah je závažný aj pre dnešné dni a zohrali kľúčovú rolu pri systematickom vytváraní teórie kvantovaných polí a kvantovej teórie kondenzovaných stavov, zvlášť teórie supravodivosti nezávislej od teórie Bardeena, Coopera a Schriffera. Za tieto výskumy bola Bogoliubovovi udelená v r. 1958 Leninova cena ako prvému teoretickému fyzikovi. V tých rokoch sa podieľal na vytvorení teórie R-operácie ako výpočtového formalizmu v teórii kvantovaných polí, na vytvorení metódy renormalizačných grúp, základov disperzných vzťahov, čo boli nástroje výskumu v oblasti fyziky vysokých energií.

Bogoliubov zostal vnorený do výskumu aj v ďalších rokoch, a to navzdory administratívnej záťaži v dôsledku direktorovania 3 vedúcich výskumných centier (Spojený ústav pre jadrový výskum, Dubna; Ústav teoretickej fyziky, Kiev; Matematický ústav Steklova, AV ZSSR, Moskva) a funkcie akademického sekretára Matematického oddelenia AV ZSSR. K pozoruhodným výsledkom z rokov 1960 – 1980 patrí zavedenie „farby“ ako kvalitatívneho kvantového čísla pre quarky (1965), existencia a dôkaz dynamických typov riešení v kinetike (1975), podstatný progres v teórii polarónu (1981) navrhnutého ním už v r. 1950. Počas mnohých dekád sa úspešne podieľal na výučbe, najskôr na Kievskej univerzite a neskôr na Moskovskej univerzite, kde zastával rôzne funkcie a vychoval niekoľko generácií vynikajúcich vedcov. Po 2. svetovej vojne bol spoluautorom mnohých fundamentálnych diel, ktoré sa stále tešia širokej popularite v celom svete. Dôkazom trvalého záujmu o výskum sú jeho práce z posledných rokov 1990 – 1992, venované dôkazu istej teóremy v aritmetike, ktorý nedokončil v r. 1939; ďalšiemu rozpracovaniu teórie polarónu, ako aj vysoko-teplotnej supravodivosti.

Okrem vedeckých, administratívnych a výchovných aktivít bol Bogoliubov zatiahnutý aj do verejných prác. Bol členom Najvyššieho soviету a mierového hnutia vedcov. Vláda bývalého Sovietskeho zväzu vysoko hodnotila Bogoliubovovu vedeckú a verejnú prácu a udelila mu 5 krát Leninov rád a mnoho iných cien a medailí. Bogoliubov bol čestným členom mnohých zahraničných akademií vied, vedeckých spoločností a čestným doktorom mnohých zahraničných univerzít ako aj držiteľom mnohých špeciálnych cien a medailí.

Ako vedec bol Nikolai Bogoliubov trojjediný – bol vynikajúcim matematikom, fyzikom a mechanikom. Ovládal detailne problematiku matematických simulácií, odhalil horizonty modernej matematickej fyziky a bezpochyby poznal teoretické a praktické požiadavky modernej mechaniky a inžinierstva.

Hoci k uznaniu vedeckých úspechov Bogoliubova došlo pomerne skoro, toto uznanie zďaleka nie je završené. Mnohé z jeho fundamentálnych myšlienok predbehli dobu, a preto neboli okamžite a úplne pochopené a ocenené. Bogoliubovove súborné dielo obsahuje 12 zväzkov publikovaných v r. 2005 – 2009 vydavateľstvom Nauka a predstavuje intelektuálne bohatstvo, ktorého úplné pochopenie je prenechané budúcim generáciám výskumníkov.

Podľa príspevkov:

- [1] Nikolai Nikolaevich Bogoliubov (21 August 1909-13 February 1992) To his 100<sup>th</sup> Anniversary, *Theoretical and Mathematical Physics*, **160**(2): 1076-1078 (2009).
- [2] A.A. Martynyuk, E.E. Mishchenko, A.M. Samoilenko, A.D. Sukhanov: Academician Nikolai Nikolaevich Bogolyubov (For the 100<sup>th</sup> Anniversary of his birth), *International Applied Mechanics* **45** (7): 693-698 (2009).

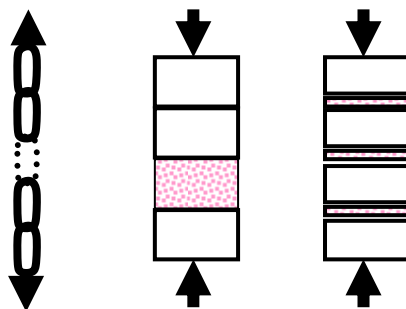
Spracoval: V. Sladek

## Aplikovaná mechanika a teória stavebných konštrukcií – 2. časť

Ján Ravinger

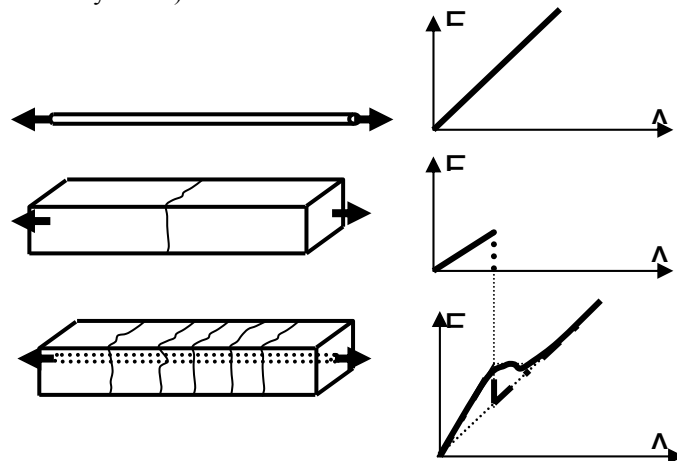
### 5. Jednoduché – zložité

O zložitosti navrhovania konštrukcií sa môžeme presvedčiť na nasledujúcich jednoduchých príkladoch. Vo všeobecnosti môžeme prijať filozofickú úvahu, že konštrukcia je tak pevná ako je pevná jej najslabšia časť. Najlepším príkladom je reťaz a jej ohnivka ako prvky namáhané ťahom. Platí to i u prvkov namáhaných tlakom. Ak ale vytvoríme pilier tým, že budeme pevné kamene prekladať tenkými málopevnými vrstvami, tak pevnosť materiálu použitého v tejto tenkej vrstve (napríklad piesok) nebude limitujúca pre určenie pevnosti celého piliera.



Iným jednoduchým príkladom pre zložitosť úloh v teórii konštrukcií je príklad betónového hranola vystuženého oceľovou tyčou namáhaného ťahom. Úvodom

určíme vlastnosti betónu i ocele samostatne. Spojme tieto dva materiály. Skúškou zistíme, že chovanie sa takto vytvoreného prvku nie je súčtom vlastností jednotlivých častí. Navyše zistíme, že výsledná závislosť medzi silou a zaťažením je podmienená spôsobom realizácie skúšky (rast sily – mäkký režim, rast deformácie – tuhý režim).



## 6. Metóda konečných prvkov (mcp)

Pri vymenovávaní obsahu učiva bol spomenutý pojem „metóda konečných prvkov“. Táto metóda sa stala dominujúcou výpočtovou metódou pre riešenie širokej škály úloh. Dnes sme svedkami toho, že MKP je uvádzaná i v učebniciach matematiky ako univerzálna numerická metóda. Treba ale stále pripomínať, že MKP vznikla v 60-tych rokoch minulého storočia, a vytvorili ju odborníci venujúci sa problémom teórie stavebných konštrukcií (Clough – 1960). Treba si uvedomiť, že práve výpočty teórie stavebných konštrukcií majú dlhoročnú tradíciu. Napríklad projekty mostov postavených začiatkom 20. storočia boli správané rozsiahlymi výpočtami.

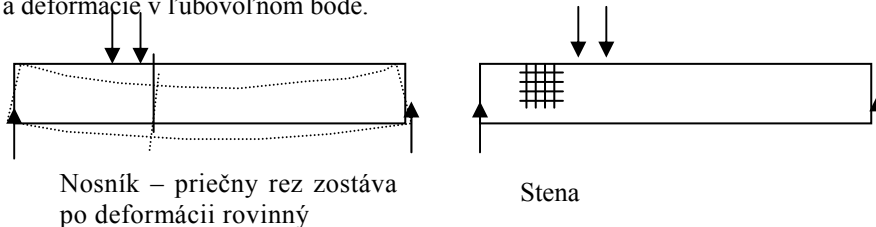
Pre úplnosť uveďme dve definície MKP:

**Inžinierska - Metóda konečných prvkov** je taký postup riešenia, kde si konštrukciu (teleso) rozdelíme na časti (prvky). Napätia v týchto rezoch nahradíme uzlovými silami a k nim priradíme uzlové premiestnenia, ktoré charakterizujú deformáciu konštrukcie (telesa). Nájdeť zákonitosti medzi uzlovými silami a uzlovými premiestneniami na každom prvku. Vypísaním podmienok rovnováhy pre každý uzol získame podmienkové rovnice pre celú sústavu.

**Matematická - Metóda konečných prvkov** je upravená Ritzova variačná metóda, ktorá ako základné variačné funkcie používa polynómy, pričom tieto funkcie sú definované iba na podoblasti – prvku.

## 7. Výpočtová technika

Je evidentné, že výpočtová technika je vynikajúca pomôcka. Vo väzbe na teóriu konštrukcií sa objavila i úvaha, že výpočtová technika zjednodušuje teóriu. Dá sa to ukázať na jednoduchom príklade nosníka. Klasické riešenie nosníka vychádza z Navierových a Bernoulliho predpokladov o zachovaní sa rovinnosti priečného rezu. Pri takomto riešení sme nútení definovať priezovú silu (ohybový moment, priečna sila), moment zotrvačnosti prierezu a pod. Dnes ale môžeme nosník poňať ako obecnější útvar, napríklad stenu. Výpočtová technika s prepojením na metódu konečných prvkov nám bez problémov vyhodnotí napätie a deformácie v ľubovoľnom bode.



Je ale evidentné, že navrhovať konštrukcie bez definovania teórie nosníkov je nemysliteľné.

## 8. Kvalita výpočtovej techniky

Ako bolo ukázané na jednoduchých príkladoch (reťaz, pilier, železobetónový nosník), teória konštrukcií si vyžaduje symbiózu teórie, numerických metód a experimentu. Dnešná výpočtová technika je taká kvalitná, že umožňuje modelovať i tie najzložitejšie procesy. Ukazuje sa, že pre úspešné napredovanie v prehlbovaní poznatkov v oblasti teórie konštrukcií vystupuje do popredia experimentálny výskum. Ako sa ale výpočtová technika skvalitňovala, to možno uviesť na osobnom príklade možnosti autora predkladaného článku. Do roku 1968 to bolo iba logaritmické pravítko a mechanické kalkulačky. Prvé počítače boli síce inštalované koncom 60-tych rokov, ale boli využívané iba pracovníkmi príslušných výpočtových stredísk. Pre bežných užívateľov robili servis napríklad pre riešenie systému algebrických lineárnych rovníc. Prvý priamy kontakt s počítačom bol autorovi umožnený v r.1968 na SAV, a to počítač Gier Algol s operačnou pamäťou 32 kb. Komunikácia s počítačom bola cez dierne pásy. Revolučným skokom vpred bolo inštalovanie počítača CDC 3300 v r. 1971 na výpočtovom stredisku OSN v Bratislave. Tento počítač mal operačnú pamäť 2\*120kb a komunikácia s počítačom bola cez dierne štítiky. V roku 1985 bol na SAV inštalovaný počítač EC 1045 s operačnou pamäťou 1 Mb, komunikácia bola cez dierne štítiky, neskôr cez terminál. V tomto období sa začala i éra personálnych počítačov.

Len tak pre zaujímavosť. Vďaka využívaniu symetrie, pásovosti, riedkosti systému lineárnych algebrických rovníc, elimináciou po blokoch a prácou s externými pamäťovými médiami, bolo možné riešiť i tisícky rovníc v počítačoch s operačnou pamäťou 30 až 100 kb. (Pre vysvetlenie. 1000 rovníc reprezentuje  $1000 \cdot 1000 = 1000000$  reálnych čísiel. Jedno reálne číslo je 8 b, čiže 1000 rovníc reprezentuje 8000 kb pamäte.)

### 9. Bezpečnosť konštrukcie

V dennom živote sa často stretávame s otázkou, aká je bezpečnosť konštrukcie. Pred 30 – 40 rokmi sme navrhovali konštrukcie s využívaním metódy dovolených namáhání. Vtedy platilo, že maximálne napätie vyhodnotené pre prevádzkový stav muselo byť nižšie ako pevnosť (alebo medza klzu) použitého materiálu. Tento pomer medzi vyhodnoteným napätím a pevnosťou reprezentoval číslo (od 1.6 do 3), ktoré sa zároveň dalo použiť i pre definovanie bezpečnosti konštrukcie. Dnes je celosvetovo uznávaná filozofia navrhovania konštrukcií podľa medzných stavov. Tam platí, že maximálne zaťaženie musí byť nižšie ako minimálna únosnosť. Pri takomto ponímaní už ale nemôžeme bezpečnosť vyjadriť jedným číslom.

Zložitosť odpovede na túto otázku môže byť demonštrovaná i nasledovným príkladom. Predpokladajme, že sme v laboratóriu odskúšali stenový panel a doskový panel. U oboch panelov bolo maximálne zaťaženie 10 (10 kN/m u steny a 10 kN/m<sup>2</sup> u dosky). Otázka je, pre ktorý panel by sme mohli pripustiť vyššie namáhanie pri použití v reálnej konštrukcii. Na prvý pohľad by to asi bola stena. (Tak aj zvykne odpovedať väčšina opýtaných ľudí.) Pravdou je ale opak. Stenový panel svoje porušenie ničím neavizuje, a to je horšie ako u doskového panelu, ktorého porušenie je avizované veľkými priehybmi.

