

# NANOMEDŽIAGŲ VYSTYMO SI PERSPEKTYVOS XXI AMŽIUJE

*Robertas Gilys*

*Šiaulių valstybinė kolegija, Aušros al. 40, Šiauliai*

**Anotacija.** Nanomedžiagos yra labai mažos, bet jos gali daryti didelį poveikį mūsų kasdieniam gyvenimui, todėl kelia didelį susidomėjimą. Mums svarbu turėti apie jas žinių. Šiame darbe palygintos nanomedžiagos jų vystymasis, savybės, tipai ir jų taikymas elektronikoje, inžinerijoje ir medicinoje.

**Pagrindiniai žodžiai:** nanotechnologijos, nanomedžiagos, taikymas inžinerijoje.

## **Įvadas**

**Tyrimo aktualumas.** Per paskutinius kelerius metus nanotechnologijos sulaukė didelio mokslinių tyrimų dėmesio dėl savo išskirtinių mechaninių, elektromagnetinių ir optinių savybių. Nanotechnologijos yra tarpdisciplininė sritis, apimanti nanomedžiagas, nanoelektroniką ir nanobiotechnologiją. Nors nanotechnologijų plėtra turi daug galimybių ir privalumų, tačiau svarbu taip pat atsižvelgti į galimas rizikas ir neigiamus poveikius, kurie gali būti susiję su šios srities taikymu. Svarbu atidžiai nagrinėti ir reguliuoti nanotechnologijų taikymą, siekiant užtikrinti jų saugumą ir efektyvumą.

Ilgą laiką buvo žinoma, kad yra trys anglies nanomedžiagos: deimantas, grafitas ir amorfinė anglis. Tačiau per pastaruosius tris dešimtmečius, pradedant nuliniais fulerenais, vienmačiais anglies nanovamzdeliais ir baigiant dvimačiu grafenu, buvo nuolat randama naujų nanomedžiagų [1].

Nanomedžiagų gamyba didesnę įtaką pramoninei gamybai įgavo praėto šimtmečio aštuntojo dešimtmečio pabaigoje. Pasaulio rinkoje šiuo metu yra didelė nanomedžiagų įvairovė.

Šiandien nanomedžiagos yra plačiai naudojamos inžinerijos srityje dėl jų ypatingų savybių ir potencialo sukurti naujas technologijas. Šiame straipsnyje palygintos kelios populiaros nanomedžiagos – grafeno oksidas, nanovamzdeliai, nanodalelės, nanokristalai, – jų savybės ir panaudojimo sritis inžinerijoje.

**Tyrimo objektas** – nanomedžiagų vystymasis.

**Tyrimo tikslas** – palyginti nanomedžiagų savybes ir jų panaudojimo sritis.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Apžvelgti populiariausias nanomedžiagas.
2. Palyginti nanomedžiagų savybes.
3. Palyginti nanomedžiagų panaudojimo sritis.

**Tyrimo metodika:** literatūros analizė sisteminant, lyginant ir apibendrinant informaciją.

## **1. Grafeno oksidas**

Grafenas, dvimatė sp<sup>2</sup>-hibridizuota anglis, šiuo metu yra intensyviausiai tiriama medžiaga. Grafenas ir jo vediniai naudojami biologiniams taikymams dėl daugybės pageidaujamų grafeno savybių, pvz.: biologinio suderinamumo, žemos kainos, lanksčiai plečiamos gamybos ir paprasto biologinio / cheminio funkcionalizavimo [2]. Nuo tada, kai jis pirmą kartą buvo atrastas (1947 m.) iš grafeno buvo sintetiniai įvairūs grafeno dariniai (žr. 1 pav.).



1 pav. Grafeno sintetinimas [3]

Grafeno oksidas lengvai jungiasi su daugybe kitų nanomaterialų medžiagų, leisdamas kurti naujus taikymus vaistų pristatymo, vėžio terapijos, audinių inžinerijos, diagnostikos ir organizmų atvaizdų gavimo srityse. Esminė problema, kurią reikia išspręsti prieš plačiau taikant grafeną nanomedicinoje, yra šios naujos medžiagos potencialus trumpalaikis ir ilgalaikis toksiškumas [2]. Dėl savo išskirtinių fizinių savybių, tokių kaip didelis elektroninis laidumas, geras terminis stabilumas, puikus mechaninis stiprumas ir cheminis universalumas, grafenas sukėlė didelį mokslo bendruomenės susidomėjimą.

Grafeno oksidas gali būti naudojamas įvairiose inžinerinėse srityse, tokiose kaip elektronika, nanotechnologija, medicina, chemija, energijos saugojimas ir kt. Grafeno oksido taikymo inžinerijoje pavyzdžiai:

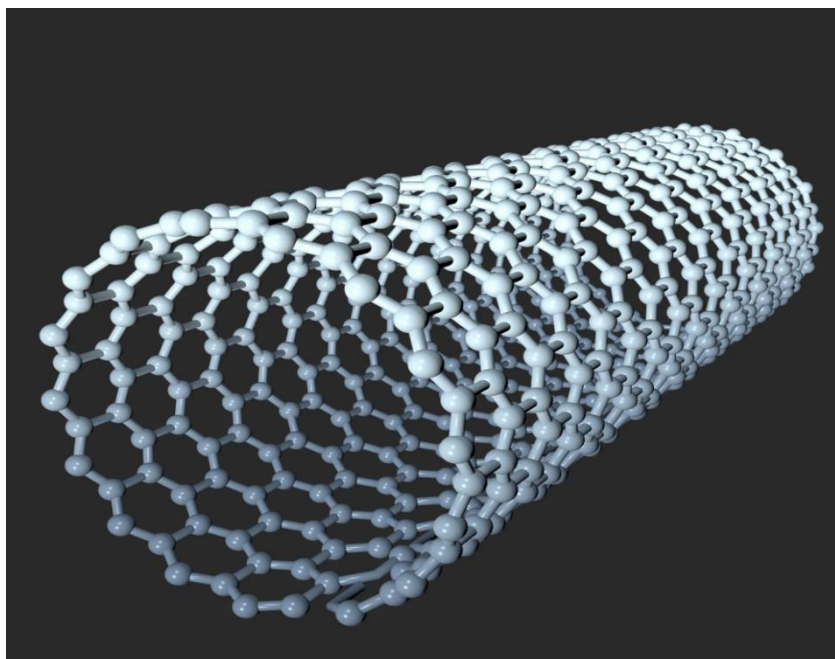
- 1) Elektronikoje. Grafeno oksidas turi panašią laidumo struktūrą kaip ir grafitas, tačiau jis gali būti funkcionalizuotas chemiškai, kad gautų naujų savybių. Tai leidžia naudoti grafeno oksidą elektrodo medžiagoje organiniuose tranzistoriuose, laidininkų sistemose ir kitose elektronikos priemonėse [4].
- 2) Nanotechnologijoje. Grafeno oksidas dėl savo ypatingų fizikinių savybių, tokių kaip didelis paviršiaus plotas ir sluoksnuota sandara, gali būti naudojamas kaip nanomedžiaga, nanokompozitas arba nanofiltrantas [5]. Jis gali būti naudojamas paveikslėlių, sensorių ir kitų nanotechnologijų kūrimui.
- 3) Medicinoje. Grafeno oksidas gali būti taikomas biomediciniuose tyrimuose, tokiose kaip biojutimas, katalizė, vaistai ir kt. [6].
- 4) Chemijoje. Grafeno oksidas gali būti naudojamas kaip katalizatoriaus medžiaga cheminėse reakcijose dėl jo didelio paviršiaus ploto ir cheminių reakcijų katalizatoriaus savybių [7].
- 5) Energetikoje. Grafeno oksidas gali būti taikomas kaip elektrodo medžiaga energijos saugojimo sistemose, tokiose kaip baterijos, dėl jo gebėjimo saugoti elektros energiją, didelio paviršiaus ploto ir elektrinių savybių [4].

## 2. Nanovamzdėliai

Nanovamzdėliai yra labai ploni vamzdėliai, pagaminti iš anglies arba metalų. Jie turi didelį paviršiaus plotą ir unikalias elektrines savybes, todėl jie yra naudojami daugelyje skirtingų inžinerijos srityje. Pavyzdžiui, nanovamzdėliai yra naudojami elektros baterijose ir katalizatoriuose [8].

Anglies nanovamzdėliai yra tuščiaviduriai nanoskalės matmenų grafitiniai cilindrai (žr. 2 pav.). Jie yra laidūs elektrai, chemiškai ir termiškai stabilūs ir ypač tvirti. Atsižvelgiant į šį unikalų savybių derinį, buvo daug domimasi anglies nanovamzdėliais ir jų pritaikymu. Vienas iš taikymo būdų, kad šis savybių derinys gali būti naudingas, yra audinių regeneracijos srityje, įtraukiant anglies

nanovamzdelius į audinių inžinerijos pastolius [9]. Manoma, kad anglies nanovamzdeliai gali pagerinti pastolių savybes ir pagerinti audinių regeneraciją [9].



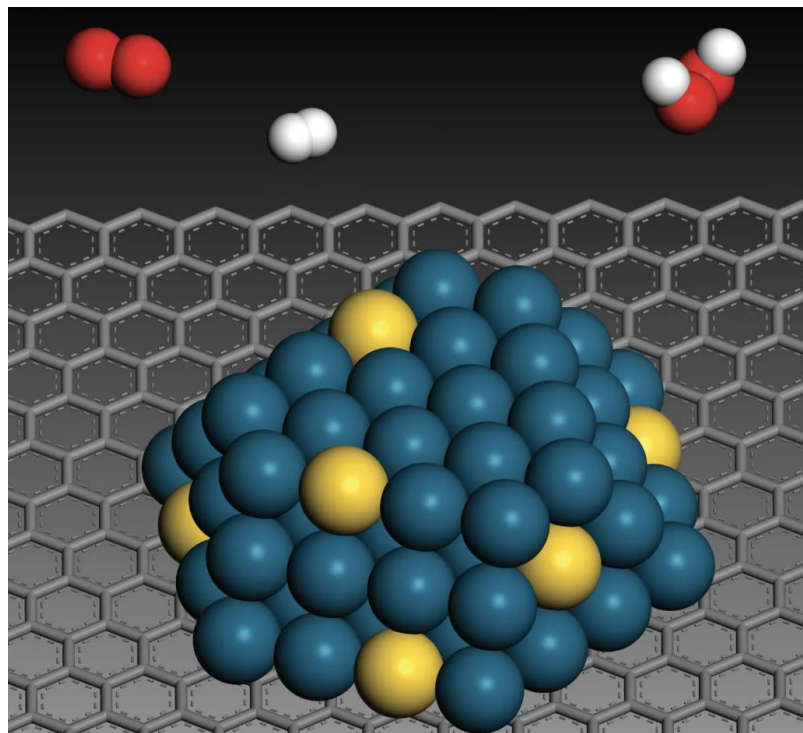
**2 pav.** Nanovamzdelis [9]

Nuo pat atradimo 1991 m. anglies nanovamzdeliai domina dėl jų paprastumo ir lengvumo sintezuoti. Naujos nanostruktūros anglies nanovamzdelių savybės, tokios kaip didelis paviršiaus plotas, geras standumas ir atsparumas, buvo iširtos daugelyje inžinerinių programų. Anglies nanovamzdelių tyrimai parodė, kad jie naudojami energijos kaupimo, vandenilio kaupimo, elektrocheminių superkondensatorių, lauką spinduliuojančių įrenginių, tranzistorių, nanozondų ir jutiklių, kompozicinių medžiagų ir šablonų srityse. Komercinėms reikmėms reikalingi dideli anglies nanovamzdelių kiekiai ir didelis grynumas. Įvairių tipų anglies nanovamzdeliai gali būti sintetinami įvairiais būdais. Šiuo metu labiausiai paplitę metodai yra lanko iškrova, lazerio abliacija, cheminis nusodinimas garais ir liepsnos sintezė. Anglies nanovamzdelių valymas atliekamas naudojant įvairius metodus, daugiausia oksidaciją, apdorojimą rūgštimi, atkaitinimą, apdorojimą ultragarsu, filtravimą ir cheminį funkcionalizavimą. Tačiau dar reikia sukurti didelio grynumo valymo metodus. Tikros programos vis dar kuriamos. Autoriai [9] nagrinėja dabartinius tyrimus, susijusius su iššūkiais, susijusiais su anglies nanovamzdelių sintezės metodais, gryninimo metodais, dispersija ir toksiškumu, atsižvelgiant į įvairius inžinerinius pritaikymus, energiją ir poveikį aplinkai.

### **3. Nanodalelės**

Nanodalelės yra labai mažos dalelės, kurių dydis yra mažesnis nei 100 nanometrų. Jos gali būti pagamintos iš įvairių medžiagų, įskaitant metalus, polimerus ir keramiką. Nanodalelės yra naudojamos daugelyje skirtingų inžinerijos sričių, tokių kaip katalizė, valymo priemonės, dažai ir spalvų pigmentai [10].

Paveiksle pavaizduotas aukso (geltonos) ir paladžio (mėlynos) lydinio nanodalelės ant rūgštimi apdorotos anglies pagrindo (pilkos spalvos). Šios dalelės naudojamos kaip katalizatoriai vandenilio peroksido susidarymui iš vandenilio (balto) ir deguonies (raudona).



**3 pav.** Aukso ir paladžio lydinio nanodalelės [10]

Nanodalelės dabar naudojamos, pavyzdžiui, gaminant įbrėžimams atsparius akinius, įtrūkimams atsparius dažus, sienų dangas nuo grafito, skaidrias apsaugas nuo saulės priemonės, dėmes atstumiančius audinius, savaime išsivalančius langus ir keramines saulės elementų dangas [11]. Nanodalelės gali padėti sukurti tvirtesnius, lengvesnius, švaresnius ir „išmanesnius“ paviršius ir sistemas.

Dėl dviejų pagrindinių veiksnių nanodalelių dydžio medžiagų savybės labai skiriasi nuo jų tūrinės formos: padidėjęs santykinis paviršiaus plotas ir kvantinio dydžio poveikis. Šie veiksniai gali pakeisti arba sustiprinti tokias savybes kaip reaktyvumas, stiprumas ir elektrinės charakteristikos [11].

Nanodalelės gali būti skirstomos į skirtingus tipus pagal dydį, morfologiją, fizines ir chemines savybes. Kai kurios iš jų yra anglies pagrindu pagamintos nanodalelės, keraminės nanodalelės, metalo nanodalelės, puslaidininkinės nanodalelės, polimerinės nanodalelės ir lipidų pagrindu pagamintos nanodalelės.

Nanodalelių tipai paprastai skirstomi į dvi pagrindines grupes: organines ir neorganines. Pirmajai grupei priklauso micelės, dendrimeriai, liposomos, hibridinės ir kompaktiškos polimerinės nanodalelės. Antrajai grupei priklauso fullerenai, kvantiniai taškai, silicio dioksidas ir metalo nanodalelės.

Kitas nanodalelių klasifikavimo būdas yra pagrįstas jų morfologija, dydžiu ir cheminėmis savybėmis. Remiantis fizinėmis ir cheminėmis savybėmis, kai kurios svarbios nanodalelių klasės yra šios:

Anglies pagrindu – (fullerenai, anglies nanovamzdeliai, grafenas, anglies taškai). Šios medžiagos yra labai įdomios dėl savo elektrinio laidumo, didelio stiprumo, struktūros, elektronų giminingumo ir universalumo.

Metalas – jie pagaminti tik iš metalų pirmtakų. Dėl gerai žinomų lokalizuoto paviršiaus plazmono rezonanso (LSPR) charakteristikų jie turi unikalių optoelektrinių savybių.

Keramika – šios neorganinės nemetalinės kietosios medžiagos sulaukia didelio tyrėjų dėmesio dėl jų naudojimo tokiose srityse kaip katalizė, fotokatalizė, dažų fotodegradacija ir vaizdo gavimo programos.

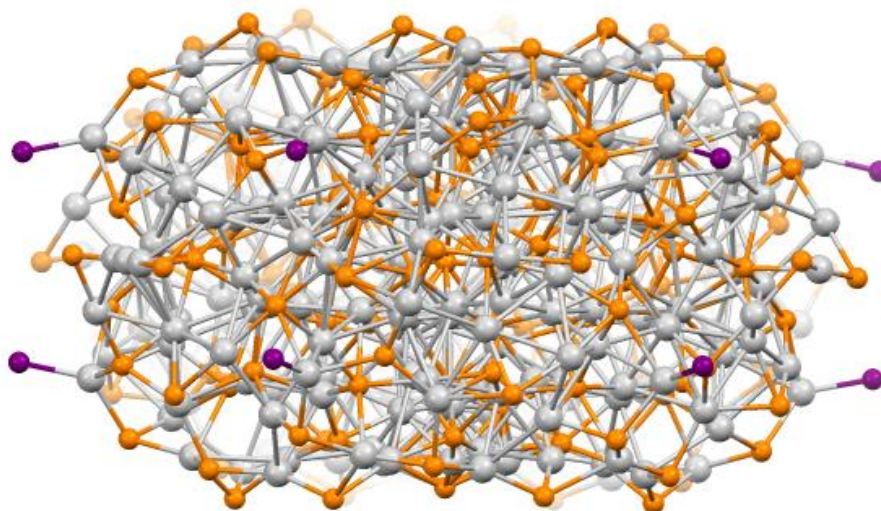


Puslaidininkis – puslaidininkinės medžiagos turi savybių tarp metalų ir nemetalų ir turi plačius tarpelius. Bandgap derinimas žymiai pakeičia jų savybes. Todėl jie yra labai svarbios fotokatalizės, fotooptikos ir elektroninių prietaisų medžiagos.

Polimerai – Mokslininkai sukūrė daugybę metodų, skirtų polimerinėms nanodalelėms sintetinti įvairioms reikmėms, įskaitant paviršiaus dengimą, jutiklių technologiją, katalizę ir nanomediciną.[11]

#### 4. Nanokristalai

Nanokristalai yra medžiagos, kurios susideda iš daugybės labai mažų kristalų (žr. 4 pav.). Jie turi ypatingų mechaninių savybių ir yra tvirtesni nei dauguma kitų medžiagų. Nanokristalai yra naudojami daugelyje inžinerijos srityje, tokių kaip transporto priemonių dalys, lazerių ir diagnostikos prietaisų gamyba [12]. Nanokristalai gali būti panaudojami kaip stiprinimo priemonės, padidinant medžiagų mechanines savybes, tokiomis kaip stiprumas ir kietumas. Jie taip pat gali būti naudojami kaip katalizatoriai cheminiuose procesuose, padidinant cheminių reakcijų efektyvumą ir sumažinant energijos sąnaudas[12]. Nanokristalai gali būti naudojami elektros laidumo valdymui, optiniams sensoriams, elektroluminescenciniams ekranams ir kitiems elektronikos komponentams[12]. Jų mažas dydis ir specifinės savybės, tokios kaip stiprus fluorescencinis efektas, leidžia kurti naujus ir efektyvesnius elektroninius prietaisus.



4 pav. Nanokristalai[13]

Nanokristalų indėlis į amorfinio silicio matricos savybes priklauso nuo jų dydžio, formos, orientacijos, pasiskirstymo ir tūrio dalies. Tai yra savybės, kurias tiriamė ir keičiame. Toks optinių ir elektroninių savybių projektavimas galėtų padėti sukurti naujus ir patobulintus optoelektroninius įrenginius. Plonos silicio plėvelės, nuo visiškai amorfinės iki polikristalinės, buvo nusodintos iš gryno silano karštosios vielos metodu. Ištirtas nusodinimo sąlygų poveikis: gijų temperatūra, substrato temperatūra, silano srautas, slėgis ir laikas. Buvo sudarytos sąlygos, kuriomis izoliuoti nanokristalai, įterpti į amorfinę matricą. Pasirinktos plėvelės buvo išgraviruotos anizotropiniu būdu, siekiant pagerinti nanokristalines savybes. Plėvelės buvo tiriamos naudojant UV matomą spektroskopiją, Ramano spektroskopiją, Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopiją, perdavimo elektronų mikroskopiją ir pasirinktos srities elektronų difrakciją [14].

Celiuliozės nanokristalai yra unikalios nanomedžiagos, gautos iš gausiausio ir beveik neišsenkančio natūralaus polimero – celiuliozės. Šios nanomedžiagos sulaukė didelio susidomėjimo dėl savo

mechaninių, optinių, cheminių ir reologinių savybių. Celiuliozės nanokristalai, daugiausia gaunami iš natūraliai susidarančių celiuliozės pluoštų, yra biologiškai skaidūs ir atsinaujinantys, todėl daugeliu atvejų jie yra tviri ir aplinkai nekenksminga medžiaga. Šie nanokristalai iš esmės yra hidrofiliniai; tačiau jų paviršius gali būti funkcionalizuotas, kad atitiktų įvairius sudėtingus reikalavimus, pavyzdžiui, didelio našumo nanokompozitų kūrimas, naudojant hidrofobines polimerų matricas. Atsižvelgiant į nuolat didėjančius tarpdisciplininius celiuliozės nanokristalų tyrimus, šios apžvalgos tikslas – sulyginti turimas žinias apie šaltinius, cheminę struktūrą, fizikines ir chemines izoliavimo procedūras, taip pat aprašyti mechanines, optines ir reologines savybes celiuliozės nanokristalų. Išryškunami naujoviški pritaikymai įvairiose srityse, tokiose kaip biomedicinos inžinerija, medžiagų mokslai, elektronika, katalizė ir kt., kuriose gali būti naudojami šie celiuliozės nanokristalai [14].

## Išvados

Darbe atlikta populiariausių nanomedžiagų apžvalga, lentelėje pateiktas jų savybių ir panaudojimo sričių palyginimas.

	<b>Grafeno oksidas</b>	<b>Nanovamzdeliai</b>	<b>Nanodalelės</b>	<b>Nanokristalai</b>
<b>Tipai</b>	Energetiškai tvirti grafo oksidai , Želatininio grafeno oksidai,	Viensieniai ir daugiasluoksniai	organines ir neorganines	Silicio, celiuliozės
<b>Savybės</b>	Stipri ir lanksti medžiaga	gana lankstūs, geri šilumos laidininkai.	mažas dydis suteikia jiems unikalų savybių, kurių nėra didesniuose objektuose	Tvirtos, fluorescencinis efektas
<b>Panaudojimo sritys:</b>				
	taikymas įvairiose srityse, tokiomis kaip elektronika, bioinžinerija, energijos saugojimas, chemija ir kt	ankstiems, didelio našumo bei permatomiems prietaisams, tokiems kaip elektroninis popierius, gaminti	katalizė, valymo priemonės, dažai ir spalvų pigmentai padėti sukurti tvirtesnius, lengvesnius, švaresnius ir „išmanesnius“ paviršius ir sistemas	Transporto priemonių dalių, lazerių ir diagnostikos prietaisų gamyboje
<b>Medžiagų inžinerijoje</b>	automobilių konstrukcija, aviacijos ir kosmoso technologijos ir kt.	anglies nanovamzdeliai gali pagerinti pastolių savybes ir pagerinti audinių regeneraciją	Pavyzdžiui, alumino oksido nanodalelės gali būti pridėtos į metalinius lydinius, kad padidintų jų tvirtumą.	Padidinti medžiagų mechanines savybes - stiprumą ir kietumą.
<b>Chemijoje</b>	gali būti naudojamas kaip katalizatorius daugelyje cheminių reakcijų.	naudojami kaip efektyvūs katalizatoriai cheminių reakcijų metu	Nanodalelės gali būti naudojamos kaip katalizatoriai cheminiams procesams, kadangi jų paviršiaus plotas yra didesnis negu didelėms dalelėms	Katalizatoriai cheminiuose procesuose, padidinantis cheminių reakcijų efektyvumą ir sumažinantis energijos sąnaudas
<b>Elektronikoje</b>	GO gali būti naudojamas kaip elektrodo	naudojami energijos kaupimo, vandenilio kaupimo,	Kai kurios nanodalelės, tokios kaip metalų	Elektros laidumo valdymui, optiniams sensoriams,

	<b>Grafeno oksidas</b>	<b>Nanovamzdeliai</b>	<b>Nanodalelės</b>	<b>Nanokristalai</b>
	medžiaga, siekiant padidinti elektros energijos saugojimo gebėjimus. Tai gali būti pasiekama dėl GO aukšto specifinio paviršiaus plotų ir gerų elektros laidumo savybių.	elektrocheminių superkondensatorių, lauką spinduliuojančių įrenginių, tranzistorių	oksidai, gali būti naudojami kaip elektros izoliatoriai arba kaip laidininkai	elektroluminescenciniams ekranams ir kitiems elektronikos komponentams.
<b>Medicinoje</b>	siekiant padidinti gydymo efektyvumą, pasiekti tikslinius organus ir ląsteles, taip pat vystyti naujas diagnostikos ir gydymo priemones	Jie gali būti naudojami kaip nešikliai, kad vaistai būtų pristatomi tiesiogiai į specifinius organus ar ląsteles, kuriose jie reikalingi	Nanodalelės gali būti naudojamos siekiant transportuoti vaistus per kraujagysles ar kitus mažus kanalus.	leidžia stebėti tam tikrų ląstelių ar organų veiklą ir gali padėti anksti nustatyti tam tikras ligas.

Nanotechnologijos ir nanomedžiagos turi didelę reikšmę inžinerijos srityje, siekiant technologijų ir produktų efektyvumo, tvarumo ir patikimumo.

Elektronikos srityje - nanomedžiagos yra naudojamos gaminti daugelį elektronikos prietaisų, tokius kaip mobilieji telefonai, televizoriai ir kompiuteriai. Nanomedžiagos padeda sukurti mažesnius ir lengvesnius prietaisus, kurie yra patogesni naudoti ir kelia mažiau aplinkos teršalų.

Energetikos srityje - nanomedžiagos yra naudojamos gaminti saulės elementus ir akumuliatorius, kad būtų galima pasiekti didesnę energijos kaupimą ir sunaudojimą. Nanomedžiagos taip pat padeda sumažinti degalų sunaudojimą transporto priemonėse, kad būtų pasiektas didesnis efektyvumas ir mažesnės išmetamų teršalų emisijos.

Statybų srityje - nanomedžiagos yra naudojamos gaminti tvirtesnius ir patvaresnius statybinius produktus, tokius kaip betonas ir metalas. Nanomedžiagos padeda gerinti medžiagų savybes ir padidinti jų atsparumą įvairioms aplinkos sąlygoms, tokioms kaip temperatūros kaitos, drėgmė ir korozija.

Transporto srityje - nanomedžiagos yra naudojamos gaminti lengvesnius ir tvirtesnius transporto prietaisus, tokius kaip automobiliai, traukiniai ir orlaiviai. Nanomedžiagos padeda sumažinti svorį ir padidinti atsparumą įvairioms jėgoms, tokioms kaip trintis ir vibracijos, taip padidinant saugumą ir efektyvumą.

Medicinos srityje – nanomedžiagos naudojamos vaistams, diagnostikai ir kitoms medicinos priemonėms kurti. Nanomedžiagos padeda pagerinti gydymo veiksmingumą, sumažinti šalutinio poveikio riziką ir padėti diagnozuoti ligas anksčiau ir tiksliau.

### **Informacijos šaltinių sąrašas**

1. Anglies nanomedžiagos (2020). <https://www.hwnanoparticles.com/lt/news/2047/>
2. Šlekienė, N. (2017). Grafeno / grafeno oksido funkcionalizavimas ir jo bei jo darinių taikymas nanomedicinoje. Daktaro disertacija, Kauno technologijos universitetas.
3. Ricci, A., Cataldi, A., Zara, S., Gallorini, M. (2022). Graphene-Oxide-Enriched Biomaterials: A Focus on Osteo and Chondroinductive Properties and Immunomodulation. *Materials*, 15, 2229. <https://doi.org/10.3390/ma15062229>
4. Wu, J., Lin, H., Moss, D.J. et al. (2023). Graphene oxide for photonics, electronics and optoelectronics. *Nat Rev Chem* 7, 162–183 <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00458-7>

5. Singh, S, Mohd.Rahil Hasan, Pradakshina Sharma, Jagriti Narang. (2022). Graphene nanomaterials: The wondering material from synthesis to applications, *Sensors International*, 3, <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100190>.
6. Chung, Chul & Kim, Young-Kwan & Shin, Dolly & Ryoo, Soo-Ryoon & Hong, Byung & Min, Dal-Hee. (2013). Biomedical Applications of Graphene and Graphene Oxide. *Accounts of chemical research*. 46. 10.1021/ar300159f.
7. Gaidukevič, J. (2017). Nanostruktūrinių grafeno katalizatorių, katalizatorių nešiklių ir dangų sintezė bei tyrimas. Daktaro disertacija, Vilniaus universitetas.
8. Kavita Soma, T. K. Radhakrishnan & J. Sarat Chandra Babu (2017). Carbon nanotubes: Their role in engineering applications and challenges ahead. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 47:2, 188-196, DOI: 10.1080/15533174.2015.1137071
9. Ren, Guoqiang (2023). Carbon nanotube. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/carbon-nanotube>.
10. Nanoparticle (2023). *The Information Architects of Encyclopaedia*. Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/facts/nanoparticle>
11. Nanoparticles Types, Properties and Uses. [https://www.nanowerk.com/what\\_are\\_synthetic\\_nanoparticles.php](https://www.nanowerk.com/what_are_synthetic_nanoparticles.php)
12. Johnsy George & SN Sabapathi (2015) *Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications*, *Nanotechnology, Science and Applications*, 8:, 45-54, DOI: 10.2147/NSA.S64386
13. Nanokristalai. Wikipedija  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/ASUTAJ\\_%3D\\_CCDB\\_code.\\_Ag-S\\_nanocrystal\\_as\\_described\\_in\\_doi\\_10.1002SLASHanie.200352351.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/ASUTAJ_%3D_CCDB_code._Ag-S_nanocrystal_as_described_in_doi_10.1002SLASHanie.200352351.png)
14. John C.L. Cornish, Eman Mohamed & Reem Abdelaal (2005) *Engineering nanocrystals of silicon*, *Molecular Simulation*, 31:6-7, 405-410, DOI: 10.1080/08927020412331332695