

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**RAZISKAVA IMPLEMENTACIJE OGLJIKOVIH
NANOCEVK V MATERIALE PLOVILA LEXMAR 6 SC**

DIPLOMSKO DELO

Johannes Vuga Gregorič

Mentor: prof. dr. Božidar Šarler

Nova Gorica, 2012

ZAHVALA

Za izvedbo diplomskega dela se zahvaljujem vsem, ki so sodelovali pri doseganju ciljev te naloge. Zahvala gre mentorju v podjetju Navimar navtika d.o.o Edvardu Remichu, ki je omogočil uvajanje v navtičnem sektorju in izpeljavo izdelave preizkusnih modelov. Podal je potrebno znanje in povezave do strokovnjakov na področju te diplome. Pri procesu je sodeloval konstanto in angažirano. Profesorju Božidarju Šarlerju, mentorju na univerzi se zahvaljujem, ker je omogočil pridobivanje visokotehnološkega materiala. Vpeljal me je v področje nanotehnologij. Zbrano in preudarno je svetoval in prisostvoval pri izdelavi dela. Gospodu Radovanu Grapulinu s Centra odličnosti za biosenzoriko, instrumentacijo in procesno kontrolo (COBIK) gredo zasluge za dobavo fulerena C60. Gospod Milivoj Kačič je omogočil cenovno dostopne in strokovne meritve. Podal je znanja o meritvah in specifikacije merilnih naprav. Zahvaljujem se tudi gospodu Metodu Ličnu, vodji področja metrologije in laboratorijev v Iskra Avtoelektrika d.d. za izpeljavo dodatnih meritev. Zahvala gre tudi vsem, ki so izdali dovoljenje za uporabo njihovega gradiva v diplomski nalogi in vsem tistim, ki so me podpirali v času izdelave.

NASLOV

Raziskava implementacije ogljikovih nanocevk v materiale plovila

Lexmar 6 SC

IZVLEČEK

Diplomsko delo obsega raziskavo možnosti implementacije ogljikovih nanodelcev v materiale trupa plovila Lexmar 6 SC. Predstavljeno je podjetje Navimar navtika d.o.o. in njihovo plovilo. Natančno in pregledno so opisani postopki izdelave trupa plovila in epoksi smolni kompoziti, ki jih pri teh postopkih uporabljajo. Opisani so poizkusi konkurentov na področju uporabe nanomaterialov v navtiki. Cilj diplomskega dela je izboljšati materiale za izdelavo trupa, ki omogočajo manjšo maso. Opisani so kemični procesi pri mešanju kompozitov in vplivi na lastnosti nastalih materialov. V epoksidno smolo, zamešano s katalizatorjem, smo vmešali ogljikove nanocevice, fullerene in aerosil v utežnih deležih, manjših od 0,1 %. Ob tem smo podrobno predstavili ogljikove nanocevice in fullerene, njihovo zgodovino, zgradbo in lastnosti. Zanimale so nas mehanske lastnosti (udarna žilavost in natezna trdnost) izdelanih novih materialov v primerjavi s klasičnimi materiali. Meritve Charpyjevega udarnega preizkusa in nateznega preizkusa smo opravili na Tehniškem šolskem centru Nova Gorica (TŠC) in v podjetju Iskra Avtoelektrika d.d v Šempetru pri Gorici. Meritve so pokazale, da imajo novi materiali od 23 % do 55 % večjo udarno žilavost in od 13 % do 33 % večjo natezno trdnost. S pridobljenimi podatki smo postavili teze o lastnostih novih nanokompozitnih materialov v primerjavi s klasičnimi epoksi materiali. Ugotovili smo, da je možno izdelati plovilo z uporabo nanokompozitnega materiala na podlagi fulerena, ki bi imelo vsaj 25 % nižjo težo od plovila, izdelanega z uporabo klasičnega epoksi materiala. Predlagali smo dodatne raziskave tovrstnih novih materialov, v smislu izboljšane proizvodnje in še boljših mehanskih lastnosti.

KLJUČNE BESEDE

navtika, plovilo, ogljik, nanotehnologija, nanocevka, fuleren, aerosil, epoksi smola, laminacija, natezna trdnost, udarna žilavost

TITLE

Study of carbon nanotubes implementation into the materials of the motorboat Lexmar 6SC

ABSTRACT

The bachelor thesis covers the research of carbon nanoparticles implementation into the materials used for hull manufacture of the vessel Lexmar 6 SC. The enterprise Navimar navtika d.o.o. and their vessel are described. The processes used for making the hull of the vessel and the used epoxy composites are described transparently and in detail. Competitor's nanotechnology implementation attempts in the nautical sector are described. The goal of the study is to improve the materials used in the hull manufacture processes which allow the weight reduction of the vessel. The chemical processes used in the mixing of epoxy composites and their impact on the properties of the new materials are also described. Less than 0.1 % mass fraction of carbon nanotubes, fullerenes and aerosil was added into the mixture of epoxy resin and catalyst. At the same time we explained the properties, structures and the history of carbon nanotubes and fullerenes. The points of interest are the mechanical properties (tensile strength and impact toughness) of the new manufactured materials in comparison with the classical ones. The Charpy model tests and the tensile strength tests were done in Tehniški šolski center Nova Gorica (TŠC) and in the company Iskra Avtoelektrika d.d. The tests resulted from 13 % to 33 % improved tensile strength, and from 23 % to 55 % improved impact toughness of the new materials. New hypothesis of nanocomposite materials properties in comparison with the classical epoxy material ones were posed, based on the obtained test data. We assumed that it is possible to manufacture a vessel with a reduced weight of at least 25 % with the usage of material based on fullerenes. We suggested additional research of these new materials in the sense of improved manufacturing processes and even better mechanical properties.

KEYWORDS

nautics, motorboat, carbon, nanotechnology, nanotube, fullerene, aerosol, epoxy resin, lamination, tensile strength, impact toughness

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	PODJETJE IN IDEJA	3
2.1	Potencialni kupci.....	4
2.2	Sodobna oblika in dobro izkoriščen prostor	4
2.2.1	Dizajn	5
2.2.2	Uporaba v obrambni industriji	5
2.3	Tehnične prednosti.....	6
2.4	Kakovost	6
2.4.1	Proces izdelave plovila.....	7
2.5	Načini izdelave plovil z uporabo smol.....	9
2.6	Epoksidne smole	12
2.6.1	Kemija epoksija.....	12
2.6.2	Uporaba epoksija.....	12
2.6.3	Barve in premazi	13
3	IDEJA IMPLEMENTACIJE NANOCEVK	15
3.1	Nanotehnologija.....	15
3.1.1	Implementacija nanotehnologije v proizvodnjo	16
3.2	Izdelava plovil z novimi materiali	16
3.3	Konkurenca	16
4	IMPLEMENTACIJA	17

4.1	Zamisel.....	17
4.2	Ogljikove nanocevkke	17
4.2.1	Zgodovina ogljikovih nanocevk.....	18
4.2.2	Struktura ogljikovih nanocevk	19
4.2.3	Sinteza ogljikovih nanocevk	20
4.2.4	Lastnosti ogljikovih nanocevk	21
4.2.5	Nanorogovi.....	22
4.3	Fulereni	23
4.3.1	Struktura fulerenov.....	24
4.3.2	Buckminsterfulleren	25
4.3.3	Aerosil	25
4.3.4	Nabava nanomaterialov	25
4.4	Izdelava preizkusnih vzorcev.....	26
4.4.1	Varnost pri rokovanju z materiali	30
4.4.2	Kataliza	30
4.4.3	Vzorci za natezni preizkus	31
4.4.4	Vzorci za udarni preizkus.....	32
4.4.5	Izpopolnitev ideje.....	33
5	MERITEV	34
5.1	Izvedba.....	34
5.2	Uporabljeni merilni stroji.....	34

5.2.1	Udarni preizkus	35
5.2.2	Charpyjev udarni preizkus	36
5.2.3	Prehodna temperaturna žilavost	37
5.2.4	Natezni preizkus.....	37
5.2.5	Preizkusni elementi	40
5.2.6	Označbe dolžin in prerez "preizkušanca".....	41
5.2.7	Standard ISO 9000	42
5.2.8	Absolutna in relativna napaka meritve.....	43
5.2.9	Računanje z merskimi napakami	44
5.3	Ugotovitve	44
5.3.1	Stroškovna ocena raziskave	46
5.3.2	Predlogi dodatnih meritev	47
6	ZAKLJUČEK.....	48
7	LITERATURA	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Logotip podjetja Navimar navtika d.o.o. (Plovila Lexmar, 2011).....	3
Slika 2: Plovilo Lexmar 6SC (Plovila Lexmar, 2011)	5
Slika 3: Prikaz izdelave kalupa plovila Lexmar 6 SC (Plovila Lexmar, 2011)	7
Slika 4: Praktičen prikaz infuzijskega postopka (Plovila Lexmar, 2011).....	9
Slika 5: Prikaz kalupa plovila Lexmar 6 SC (Plovila Lexmar, 2011).....	9
Slika 6: Ročni laminacijski postopek (prilagojeno po Summerscales, 2010).....	10
Slika 7: Laminacijski postopek s pomočjo razpršilca (prilagojeno po Summerscales, 2010)	11
Slika 8: Vakumski laminacijski postopek (prilagojeno po Summerscales, 2010)	11
Slika 9: Slika ogljikove nanocevke, pridobljena z elektronskim mikroskopom (Harris, 2009b)	18
Slika 10: Prikaz struktur ogljikove nanocevke s pomočjo mikroskopa (Harris, 2009b)	18
Slika 11: Prikaz "armchair" (zgornja), "zig-zag" (sredinska) in "chiral" (spodnja) struktur ogljikovih nanocevk (Harris, 2009b).....	19
Slika 12: Vektorski prikaz strukture ogljikove nanocevke (Harris, 2009).....	20
Slika 13: Prikaz nanorogov s pomočjo visokoresolucijskega elektronskega mikroskopa (Migone, 2012).....	22
Slika 14: Shema strukture nanoroga (Migone, 2012)	23
Slika 15: Prikaz nanorogov s pomočjo mikroskopa (25nm) (Migone, 2012).....	23
Slika 16: Prikaz strukture fulerena (Harris, 2009b)	24
Slika 17: Graf lastnosti fulerenov (Harris, 2009b).....	24

Slika 18: Končna stopnja v izdelavi vzorcev za udarni preizkus.....	27
Slika 19: Prikaz poteka katalize na izdelanih materialih.....	29
Slika 20: Material z implementiranimi fulereni (FU)	29
Slika 21: Material z implementiranimi fulereni in ogljikovimi nanocevkami (NN+FU).....	29
Slika 22: Material z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami (NN)	29
Slika 23: Material brez implementiranih primesi (trenutno uporabljeni material trupa plovila)	30
Slika 24: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (levo: material s primesjo ogljikovih nanocevk, desno: klasičen epoksi material).....	31
Slika 25: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (levo material s primesjo fulerenov, desno material s primesjo ogljikovih nanocevk in fulerenov)	31
Slika 26: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (material s primesjo ogljikovih nanocevk in fulerenov)	32
Slika 27: Vzorci za udarni preizkus pred brušenjem	32
Slika 28: Končni vzorci za udarni preizkus	33
Slika 29: Naprava za natezni preizkus (TŠC)	34
Slika 30: Charpyjevo udarno kladivo (TŠC).....	36
Slika 31: Grafični prikaz rezultatov nateznega preizkusa.....	39
Slika 32: Naprava za natezni preizkus Zwick Roell (Iskra Avtoelektrika d.d.).....	40
Slika 33: Primeri lomnih površin vzorcev novih materialov po opravljenem preizkusu na Charpyjevem kladivu	41

KAZALO TABEL

Tabela 1: Sestava novih nanostrukturiranih materialov	28
Tabela 2: Prikaz podatkov udarnega preizkusa na TŠC.....	35
Tabela 3: Tabela podatkov nateznega preizkusa.....	38
Tabela 4: Primerjava gostot uporabljenih materialov	45
Tabela 5: Udarna žilavost materiala [J/mm^2].....	45
Tabela 6: Natezna trdnost materiala [J/mm^2].....	46

1 UVOD

Diplomsko delo predstavlja raziskavo možnosti implementacije ogljikovih nanocevk in fulerenov v epoksi smolne kompozite. Za boljše razumevanje poteka pridobitve uporabnih podatkov o novem materialu, smo poskušali obrazložiti vsa področja dela v poteku raziskave. Preučili smo uporabljene materiale na trgu in nekatere poizkuse izdelave novih materialov konkurentov. Za pridobitev poglobljenega znanja smo pred izdelavo tega diplomskega dela izbrali temo praktičnega usposabljanja, ki sovpada s predmetom Energetski in proizvodni sistemi. V podjetju Navimar navtika d.o.o. smo prisostvovali pri projektiranju, izgradnji in prodaji plovila Lexmar 6 SC. Tako smo pridobili pregledno znanje o navtiki in izdelavi plovila. Prikazali smo postopek izdelave plovila. Determinirali smo fazo izdelave, kjer bi lahko uporabili ogljikove nanocevk in fulerene. Opisali smo epoksi smole in postopek uporabe. Prikazali smo različne tehnike izdelav epoksi smolnih kompozitov. Predstavili smo zamisel o implementaciji novih nanomaterialov v proces izdelave epoksi kompozita. V podjetju smo delovali tudi kot komercialisti spletne trgovine za navtično opremo. Tako smo spoznali tudi paleto artiklov za navtiko, njihovo povezavo in osnovno znanje izdelave teh artiklov. V sodelovanju z mentorjema pri praktičnem usposabljanju Edvardom Remichom in prof. dr. Božidarjem Šarlerjem smo s pridobljenim znanjem preizkušali možnost implementacije praška ogljikovih nanocevk v materiale plovila Lexmar 6 SC. Pri tem smo predstavili nanotehnologijo kot znanost, njene zmožnosti in tudi navtični sektor plovila Lexmar 6 SC. Za pripravo vzorcev novega materiala za analizo, smo morali preučiti industrijske specifikacije in tipologijo vzorčenja. Meritve natezne in udarne žilavosti materiala, po vnaprej določenih standardih, smo opravili v ustrezno opremljeni merilnici TŠC in v laboratoriju Iskra Avtoelektrika d.d. Rezultati nakazujejo realne zmožnosti uporabe novega materiala v plovilu. Rezultate raziskav je možno neposredno tržiti v obliki bodisi novega materiala ali celega plovila (čolna). Na osnovi tega smo podali predloge za morebitne potencialne kupce. Celotna raziskava je namenjena izdelavi plovila z izboljšanimi lastnostmi, ki bi ga lahko izdelovali z možnimi modifikacijami obstoječe proizvodnje.

Diplomska naloga je sestavljena iz petih poglavij. V prvem opišemo podjetje Navimar navtika d.o.o in plovilo Lexmar 6 SC, predstavimo potencialne kupce,

materiale za izdelavo plovila in proizvodne postopke izdelave plovila. V drugem poglavju osvetlimo pojem nanotehnologije in preizkuse konkurence v navtičnem sektorju, ter se osredotočimo na zamisel implementacije ogljikovih nanocevk in fulerenov v epoksi smolni kompozit, V tretjem poglavju predstavimo zamisel o uporabi novih nanomaterialov v procesu izdelave trupa plovila z namenom, da bi znižali končno maso plovila. Opisujemo tudi lastnosti in zgradbe ogljikovih nanocevk, fulerenov in aerosila. V postopek ročne laminacije smo dodali majhen delež ogljikovih nanocevk, fulerenov in aerosila. Tako smo ustvarili 3 nove kompozitne materiale, ki imajo spremenjeno natezno trdnost in udarno žilavost. Prikazujemo izdelavo preizkusnih vzorcev za natezni in udarni preizkus in opisujemo varnost pri rokovanju z uporabljenimi materiali. V zadnjem poglavju podrobno opredelimo postopke meritev in prikažemo rezultate meritev, ter zapišemo povzetke rezultatov meritev. V zaključku dela povzamemo za koliko so se spremenile mehanske lastnosti in ocenimo, kaj te spremembe pomenijo za fizične in plovne lastnosti plovila pri izdelavi z uporabo novih nanomaterialov.

2 PODJETJE IN IDEJA

Navimar navtika d.o.o je podjetje, ki se ukvarja z izdelavo in prodajo visokotehnološkega izdelka plovila Lexmar 6 SC (glej sliko 2). Slika 1 prikazuje logotip podjetja Navimar navtika d.o.o. Za uspešno poslovanje in prodajo mora podjetje slediti trendom na trgu in uvajati nove tehnologije. Plovilo je deležno trenutnih inovacij in se prilagaja implementaciji novih, kar je potrebno za doseganje fiksne cilja: v razmerju cena/kakovost ponuditi najboljši izdelek. Pri produktu lahko izboljšamo trup, nižamo težo, spremenimo čas doseganja glisiranja, izboljšujemo udobje, višamo življenjsko dobo ali nižamo stroške izgradnje. Vizija je ustvariti kakovostno plovilo, ki naj bo primerno kupcem srednjega premožnega razreda in bo ponujalo veliko več kot konkurenčna ponudba. Trenutna prednost je postopek 3D vakuumske infuzije, ki omogoča izgradnjo trdne in lahke strukture. Plovilo ima celotno dolžino 6,21 m, dolžino plastike 6,11 m, dolžino vodne linije 5,11 m in širino 2,33 m. Masa plovila z opremo, delno polnimi tanki in eno osebo je 800 kg. Tako plovilo je primerno za šest potnikov. Z motorji 114 kW/150 KM dosega optimalno razmerje moč/teža. Plovilo je CE homologirano. Za izdelavo trupa plovila se večinoma uporabljajo kompoziti epoksi smole. V uporabi so tudi poliestrske in vinilesterske smole. V smislu stalnega izpopolnjevanja produkta, smo na podlagi predhodnih pogovorov z mentorjem prof.dr. Božidarjem Šarlerjem, zastavili implementacijo ogljikovih nanodelcev v materiale plovila. To bi teoretično povečalo trdnost trupa, omogočilo manjšo porabo materiala, znižalo težo plovila ter tako tudi skrajšalo čas do glisiranja in nazadnje s tem tudi zmanjšalo porabo pogonskega goriva. (Plovila Lexmar, 2012)



Slika 1: Logotip podjetja Navimar navtika d.o.o. (Plovila Lexmar, 2011)

2.1 Potencialni kupci

Produkt je tržno zanimiv le za določen segment ljudi, saj je njegova cena primerno dostopna le srednjemu in višjemu razredu. Plovilo je primerno za vse, ki želijo preživeti čas z družino in prijatelji. Namenjeno je ljubiteljem morja, ki si želijo zasebnosti in osebam, ki želijo kakovostno plovilo, in seveda tistim, ki želijo izstopati iz povprečja. Slovenija predstavlja razmeroma majhno tržišče, čeprav je njeno povprečje registriranih plovil na dolžino obale v samem svetovnem vrhu. To dejstvo narekuje usmeritev v izvoz, iskanje novih trgov in prilagoditev tujim potrebam. Veliko in zanimivo tržišče predstavlja Italija. Ob tehnični strokovni adaptaciji je plovilo zmožno prevzeti naloge brezpilotnega patrolnega čolna ali manjšega bojnega plovila. Ta vidik omogoča tudi sodelovanje na razpisih pakta NATO ali obrambnih razpisih raznih obmorskih držav. (Plovila Lexmar, 2012)

2.2 Sodobna oblika in dobro izkoriščen prostor

"Plovila Lexmar 6 SC izstopajo iz množice po svoji sodobni in športni obliki ter uporabnih rešitvah, ki so združene z oblikovno dovršenostjo. Skladnost prostorske funkcionalnosti, kakovostne izdelave in atraktivnosti nudi uporabniku visoko vrednost ter zagotavlja ohranjanje le te za dalj časa. Plovilo odlikujejo dobre bivalne lastnosti in veliko uporabnih odlagalnih prostorov. Krmarjev prostor je tako zasnovan, da omogoča dober pogled čez celotno plovilo, kar smo podkrepili z dobro postavljenimi merilnimi instrumenti, ki lajšajo navigacijo. Običajno neuporabne prostore smo optimalno izkoristili in omogočili vgradnjo opreme kot so štedilnik, umivalnik, hladilnik in tuš, ki na takem plovilu omogočijo tudi nekajdnevno bivanje na morju ne da bi bili vezani na servisne storitve z obale. Deljiva klop v kokpitu nudi udobno površino za sončenje, integrirane stopničke na krmi, enostaven dostop, razširjena krmna pohodna površina nudi lažje in varno gibanje. Večerno druženje bo daljše zaradi zelo varčne LED razsvetljave in minimalne porabe električne energije." (Plovila Lexmar, 2011)



Slika 2: Plovilo Lexmar 6SC (Plovila Lexmar, 2011)

2.2.1 Dizajn

Oblika produkta je elegantna in privlačna. Koncept oblike je podalo podjetje, medtem ko je bil izris in končni izgled plod znanega oblikovalskega studia Quartostile S.R.L. Ta oblikovalski studio slovi po oblikovanju več luksuznih produktov. Velja omeniti, da je oblikovalec plovila Lexmar 6 SC oblikoval tudi super športni avtomobil Ferrari Enzo. (Plovila Lexmar, 2011)

2.2.2 Uporaba v obrambni industriji

Pričakovane lastnosti novega nanotehnološkega materiala bodo posledično omogočile tudi uporabo v obrambne namene. Koncept izdelave vojaškega brezpilotnega plovila je trenutno zelo priljubljen na svetovnem trgu. Implementacija bi omogočala eno pomembnejših uporabnosti: veliko trdnost in nizko težo. Pri uporabi načrtovanega materiala bi lahko izdelali plovilo, ki bi kljub svoji majhnosti kljubovalo večjim izstrelkom, in ob nizki masi lahko dohitelo vsako sovražno plovilo. V vojaški

pomorski industriji namreč v sodobnem času prevladujejo majhna, lahka in hitra plovila, kar nedvomno izkazuje dobro potencialno tržno nišo. (Lister, 2011)

2.3 Tehnične prednosti

"Uporaba sodobnih tehnologij in strokovni kader zagotavljajo visoko tehnično kakovost izdelka. Plovne lastnosti smo računalniško načrtovali. Odlika plovila je zagotovo nižja teža v primerjavi s sorodnimi plovili, kar omogoča prevoz na prikolici z osebnim avtomobilom srednjega razreda. V postopku razvoja smo plovilo zasnovali tako, da bodo kasnejši stroški vzdrževanja čim nižji. Uporaba kakovostnih navtičnih materialov, kot na primer navtični prokron (komercialno ime za specialna jekla, v tem primeru INOX) jekla AISI 316, in standardnih delov omogoča, enostavno vzdrževanje. Na plovilo so vgrajeni varčni uporabniki energije (LED razsvetljava), kar uporabniku zagotavlja možnost daljšega bivanja na morju brez bojazni izpraznitve akumulatorja. Trup ima variabilni kot z globokim V-jem na premcu, ki nudi udobno plovbo tudi v vzvalovanem morju ter plitvi V na krmi, ki omogoča lahkotno glisiranje. Izdelek izpolnjuje vse varnostne in proizvodne kriterije, ki jih zahteva evropska oznaka o skladnosti." (Plovila Lexmar, 2011)

2.4 Kakovost

"Lexmar 6 SC je bil v celoti razvit s sodobnim CAD/CAM programskim in strojnimi orodjem (glej sliko 3). Strokovno načrtovan trup nudi udobno in stabilno plovbo ter zaradi hidrodinamičnih lastnosti prihrank goriva, ergonomsko oblikovanje vam zagotavlja optimalno izkoriščenost razpoložljivega prostora.

Pomemben dejavnik, ki smo ga upoštevali pri razvoju plovila Lexmar 6 SC, je čim nižji strošek vzdrževanja. Uporaba premijskih gelcoatov v kombinaciji z vinilestrsko smolo ščiti plovilo proti nastanku osmoze. Kakovostne standardne komponente in sendvič konstrukcija, ki zagotavlja lažjo in trdno strukturo ter možnost vleke na prikolici z osebnim vozilom, omogočajo nižje stroške vzdrževanja.

Zanesljiva in skrbno izbrana oprema zagotavlja plovilom Lexmar 6 SC visoko kakovost, nižje stroške vzdrževanja in ohranjanje vrednosti:

- vsi vgrajeni kovinski deli so iz jekla AISI 316 (INOX), kar omogoča nezahtevno vzdrževanje,
- varčna LED razsvetljava vključno z navigacijskimi lučmi,
- pohodne površine so oblikovane tako, da omogočajo varno sprehajanje,
- možnost bogate opreme dodatno izboljšuje kakovost bivanja.

Z monolitnimi strukturnimi kompozitnimi ojačitvami čez celoten trup, ki enakomerneje razporedijo obremenitve, je plovba varnejša in brezskrbna. Vrhunska tehnologija 3D vakuumske infuzije v izvedbi z epoksidno smolo nudi uporabniku izjemo čvrsto in lahko plovilo, ki nudi edinstvene užitke tudi z motorji manjše zmogljivosti." (Plovila Lexmar, 2011)



Slika 3: Prikaz izdelave kalupa plovila Lexmar 6 SC (Plovila Lexmar, 2011)

2.4.1 Proces izdelave plovila

Najprej potrebujemo idejo za plovilo. Po vizualizaciji ideje izdelamo načrt. Idejno sliko prilagodimo statičnim in dinamičnim lastnostim materialov. Dizajn je v našem primeru oblikoval znani dizajnerski studio Quartostile S.R.L. Načrt plovila pri projektiranju natančno prilagajamo specifikacijam in standardom EU. Vedno upoštevamo varnost uporabnika. Plovnost plovila je izrednega pomena: glede na razporeditev teže na premcu ali krmi, oblikujemo plovne profile tako, da omogočijo čim hitrejše glisiranje in minimalni upor pri doseganju tega. Kalup plovila, ki predstavlja prostorski odtis plovila, v večini primerov izdelajo iz jekla tako, da ga

prilagodijo načrtu plovila. V našem primeru imamo dva kalupa v katerih izpeljejo vakuumsko dviganje epoksidne smole. V izmeničnih časovnih zamikih 10 minut in 30 minut na kalup namestijo dve plasti nevezivnega sredstva. Nato nanesejo smolo in po plasteh nanašajo laminacijski material. To so laminacijske vlaknine, laminirane z epoksidnimi in poliesterskimi smolami. Smole so zmešane v pravem razmerju z aktivatorjem. Laminiran nanos prevlečejo s polivinilkloridnim (PVC) platnom in ustvarijo vakuum z uporabo toplote. Slika 4 prikazuje proces vakuumske infuzije. PVC material zaradi vakuuma, povzročene s toploto, stisne odvečne izcedke iz laminata. Vakuum tudi omogoči izdelavo ravne in enakomerno razporejene laminirane površine. Optimum dosežajo z uporabo grelcev. Laminati toplotno reagirajo najboljše pri temperaturah od 50° do 80° C. Ta proces se v industriji imenuje infuzija. Material se ob poteku katalize stabilizira in otrdi. Iz kalupa izvlečejo izdelan model izdelka (glej sliko 5), obrežejo odvečne otrdele kose laminata, izdelajo potrebne luknje in spojijo oba kosa kalupa skupaj. Barva modela je implementirana v prvo plast laminacijskega procesa tako, da je globinska in obstojnejša. Plovilo zbrusijo na potrebnih površinah in opremijo z bitvami (kos jekla v obliki nakovala, namenjen privezovanju) in priveznimi kavljji. Izdelajo odtočne prekate in cevi, montirajo kalužno črpalko ter krmilne mehanizme. Povežejo elektroniko in tapcirajo notranjost. Ko dokončajo vse podrobnosti, plovilo fino spolirajo, ga stehtajo in ga pripravijo za prodajo. (Plovila Lexmar, 2011)



Slika 4: Praktičen prikaz infuzijskega postopka (Plovila Lexmar, 2011)

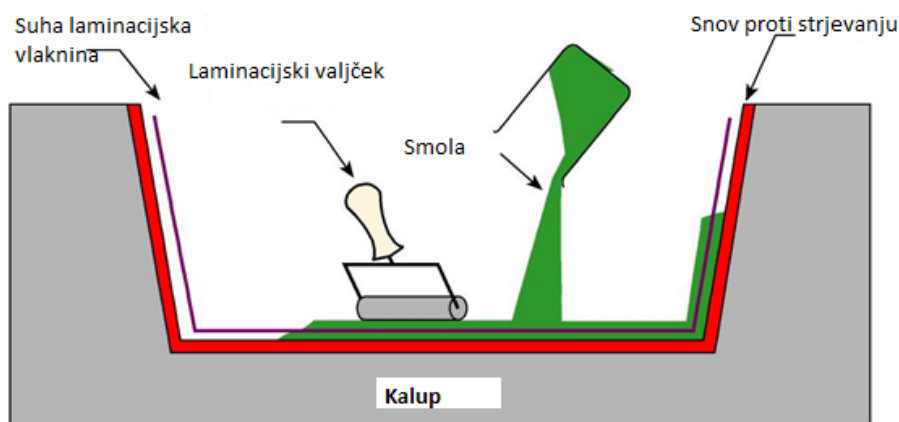


Slika 5: Prikaz kalupa plovila Lexmar 6 SC (Plovila Lexmar, 2011)

2.5 Načini izdelave plovil z uporabo smol

Najpogostejše tehnike izdelave plovil so: ročna laminacija (slika 6), to pomeni uporabo prej zmešane smole s katalizatorjem, katero nanašajo s pomočjo valjčkov na

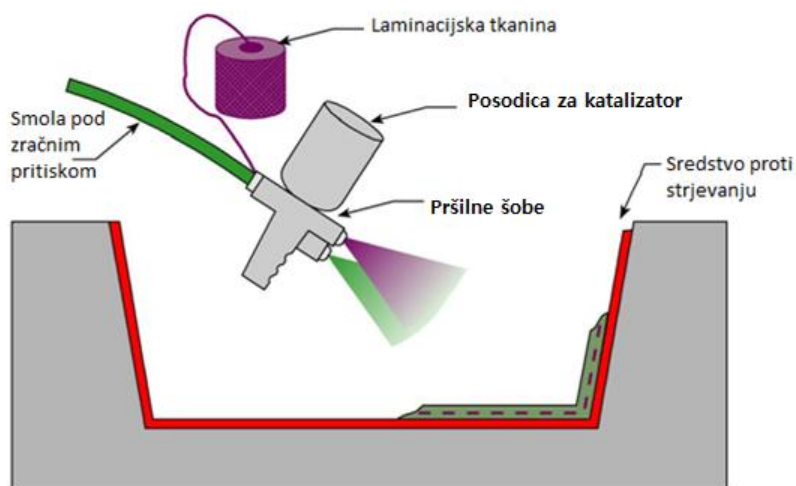
laminirno tkanino. Kompozit utrdijo z uporabo trdilnih valjčkov. Ti potisnejo odvečno smolo z laminirane površine in učvrstijo strukturo.



Slika 6: Ročni laminacijski postopek (prilagojeno po Summerscales, 2010)

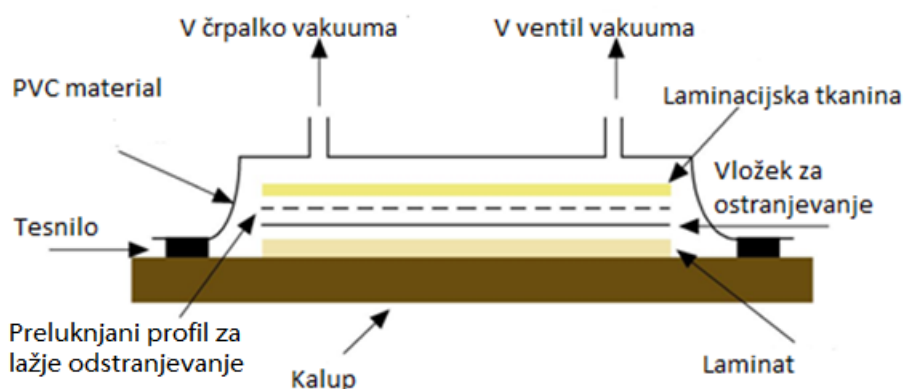
Druga tehnika je tehnika uporabe razpršilca (slika 7). Pri tej tehniki uporabljajo visokozmogljivi razpršilec. Ta razpršilec istočasno meša katalizatorje, smole in koščke laminirne tkanine. Pršijo po modelu pod standardnimi atmosferskimi pogoji. Sloje se običajno nanaša po naključnem vzorcu. Mehanske lastnosti kompozita so omejene z občasnimi vlakninami. Značilna je naključna razporeditev vlaknin. Pritisk na proces vpliva zanemarljivo- Za izdelavo potrebujejo običajno zračno polnjeno črpalko, premičnega tipa. Katalizne črpalke se lahko poganjajo batno ali perstalično (industrijski tip cevne črpalke brez ventilov in tesnil, pri kateri je le notranjost cevi v dotiku s črpanim medijem). Potrebujejo tudi rezalnik tkanine, ki pomika s pomočjo kolesc tkanino v rezalnik (naprava za rezanje laminacijske tkanine) in jo razprši po laminirni površini v zmesi smole in katalizatorja. Razpršilna glava mora biti zmožna mešanja vseh prisotnih zmesi. Poznamo več vrst zračnega mešanja. Običajne so zunanje zračno mešanje, kjer imajo štiri razpršilnike v kvadratni shemi okrog rezilnika (orodje za izvedbo reza v rezalniku). Dva razpršilnika pršita smolo, dva pa katalizator. Zunanje brezračno mešanje se uporablja tako, da katalizator in smolo pošljamo pod pritiskom v posodice. Tu se mešajo ker pretok pade. Zračno gnano notranje mešanje je, ko uporabijo zrak za mešanje katalizatorja in smole. Vse se izvaja znotraj razpršilne glave pred razprševanjem. Brezračno mešanje v razpršilni glavi, je postopek z izvedbo mešanja pod pritiskom. Zadnji postopek je postopek dveh posodic. Pri tem postopku, pod visokim pritiskom smolo in katalizator

usmerimo v tok, v polmeru 150 mm okoli razpršilne glave. Pri izvajanju postopka je potrebno poskrbeti za potrebno zaščito. Kemikalije se rade razpršijo v zraku v visokih koncentracijah majhnih prašnih delcev. Uporablja se postopek CFA ali Controlled Spraying (kontrolirano pršenje), kateri zmanjšuje hlapenje. Najboljši izvajalec procesa je robotska roka.



Slika 7: Laminacijski postopek s pomočjo razpršilca (prilagojeno po Summerscales, 2010)

Tretji postopek je vakuumaska laminacija ali infuzija (glej sliko 8). Pri tej tehniki položimo laminacijske tkanine v plasti, ter čeznje razpršimo zmes smole in katalizatorja. Laminat prekrivemo s PVC foljo ter ustvarimo vakuum z uporabo toplote. Zaradi vakuumu se smola enakomerno porazdeli po površini laminirne tkanine. Odvečna smola se izcedi. Pridobimo dokaj enakomerno linijsko porazdeljeno površino. (Summerscales, 2010)



Slika 8: Vakumski laminacijski postopek (prilagojeno po Summerscales, 2010)

Podjetje Navimar navtika d.o.o. izdeluje plovila Lexmar z vakuumskim laminacijskim postopkom.

2.6 EPOKSIDNE SMOLE

Epoksi, poznan tudi kot poliepoksid, je termonastavljiv polimer, ustvarjen ob reakciji epoksidne smole s katalizatorjem. Epoksi ima širok spekter uporabe: na primer kot vlakninski utrjevalec ali splošno uporabno lepilo.

2.6.1 Kemija epoksija

Epoksi je kopolimer: ustvari se ob reakciji dveh različnih kemikalij. Te kemikalije imenujemo "smola" ter "katalizator". Katalizator pa lahko poimenujemo tudi "aktivator" ali "trdilec". Smola je sestavljena iz monomerov, ali kratkih verig polimerov z epoksidno skupino na vsakem koncu verige. Najbolj poznane epoksidne smole so izdelane pri reakciji med epiklorohidrinom (ima kemijsko formulo $\text{OCH}_2\text{-CH-CH}_2\text{-Cl}$ in je brezbarvna strupena tekočina s sladkobnim ostrim vonjem) in bisfenolom A (ima kemijsko formulo $(\text{CH}_3)_2\text{-C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_2$ in je organska brezbarvna trdna snov, ki je topna v organskih topilih), ki ga spreminjajo glede na stopnjo izdelave. Trdilec je iz polimernih monomerov kot je na primer trietilen tetramin (ima kemijsko formulo $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-(CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{)}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ in je organska spojina klasično označena z okrajšavo TETA). Ko zamešajo te sestavine skupaj, amino skupine reagirajo z epoksidnimi skupinami in skupaj tvorijo kovalentno vez. Vsaka NH skupina lahko reagira z epoksidno skupino. Nastane polimer z veliko prečnimi vezmi, zaradi tega postane tog in močen. Proces polimerizacije imenujemo z angleško besedo "curing" (kemijski proces utrjevanja ali večanja moči polimera z uporabo pospeševalca, ki dodatno veže prečne polimerske vezi). Kontroliramo ga lahko s pomočjo temperature, izbire smole ali izbire trdilca. Čas sušenja (nekaj minut ali več ur), kompozita je odvisen od razmerja trdilca in smole. Dovedena toplotna v procesu "curing" pozitivno vpliva na nekatere zmesi, medtem ko druge potrebujejo le primeren čas in okolje. (Gurit UK, 2010)

2.6.2 Uporaba epoksija

Uporabnost materialov izdelanih iz epoksidnih smol je zelo razširjena. Vključuje premaze, lepljenje in kompozite materiale, kot je na primer uporaba ogljikovih

vlaknen ali steklovlakninskih utrjevalcev (poliesterske, vini esterske in druge termonastavljive smole se uporabljajo za steklotrdilne plastike). Kemija epoksijev in dosežki komercialno pridobljenih variacij, omogoča izdelavo polimerov z veliko paleto različnih lastnosti. Splošno so epoksiji poznani zaradi svoje odlične oprijemljivosti, kemijske in toplotne odpornosti, dobri so zaradi izvrstnih mehaničnih sposobnosti in izrednih elektroizolacijskih lastnosti. Veliko lastnosti epoksijev lahko spremenimo: na primer poznamo epoksije z dodanim srebrom, ki so prevodni. Različice ponujajo visoko toplotno izolacijo ali toplotno prevodnost. Ti dve lastnosti, kombinirani z električno odpornostjo, omogočajo izgradnjo električnih aplikacij. (Gurit UK, 2010)

2.6.3 Barve in premazi

Za trajno uporabo epoksijev v industriji sta bila razvita dva epoksijska premaza. Temeljita na metalnem substratu in pri izdelavi porabljata manj energije kot toplotno obdelani premazi. Te barve in premazi uporabljajo razmerje 4 (smola) :1 (katalizator) glede na volumen mešanice. Sušijo se hitro, kar omogoča žilav zaščitni premaz z izjemno trdnostjo. Barve in premaze odlikuje: cenovna dostopnost, nizko tveganje pri uporabi, možnost izpiranja napak z uporabo vode in nizka vnetljivost. Našteti dejavniki omogočajo njihovo uporabo v železarnah, jeklnah in aluminijevih obratih. Dvodelni epoksi premazi so bili razviti za težko uporabo na železnih materialih. Za izdelavo takih premazov porabimo manj energije kot za izdelavo toplotno obdelanih premazov. Taki premazi so tudi požarno varnejši, saj so manj vnetljivi. Zaradi toplotne odpornosti materiala jih običajno uporabljajo tudi v industriji in avtomobilskem sektorju. Materiali na bazi lateksa ali alkidov namreč ne zdržijo takih temperatur. Ker epoksidne barve niso dobro odporne na UV žarčenje, rade razpokajo. Poliesterske epokside se uporablja za premaze v prahu za čistilce, sušilce in drugo "belo tehniko". Zelo razširjena je uporaba FBE (fuzijsko povezanega epoksidnega premaza) proti koroziji na jeklenih ceveh in nastavkih, ki jih sicer uporabljajo v naftni in plinski industriji. Uporabljajo jih tudi za jeklene vodovode, železo-betonske ojačevalne cevi ter za podobne namene. Epoksidni premazi so tudi zelo uporabni za izboljšanje oprijema v avtomobilskih in navtičnih barvah. Posebno uporabni so za jeklene površine, kjer je večja verjetnost korozije ali rjavenja. Z epoksidi so pogosto premazani zadrževalniki in jeklene pločevinke, da onemogočajo

rjavenje posode in posledično možnost kvarjenja hrane (posebno paradižnikov zaradi kislosti). Epoksidne smole uporabljajo tudi v visoko zmogljivih in estetskih aplikacijah. Primeri so agregatni premazi, teak (vrsta lesa iz vzhodne Azije, slovensko poimenovana "tik") premazi in premazi nastavka mikročipov. (Gurit UK, 2010)

3 IDEJA IMPLEMENTACIJE NANOCEVK

Podrobneje bomo predstavili idejo o implementaciji ogljikovih nanocevk. Opisali bomo področji nanotehnologijo in navtiko, kje se ti področji srečata ter zamisli preizkusov konkurentov v tej smeri.

3.1 Nanotehnologija

Nanotehnologija je manipulacija, sinteza in kontrola snovi na molekularni ravni. Pomeni delovanje na nanometerski ravni. Uporabna je v vseh segmentih moderne industrije. Poseben pomen ima lahko v vojaški in operativni industriji (primeri takih odjemalcev so: posebne policijske enote, ekstremni podvigi in enote za pomoč ljudem). Omogoča izdelavo lažjih, hitrejših, močnejših materialov in izdelavo novih materialov ali materialov z drugačnimi specifičnimi lastnostmi. Koncept nanotehnologije pripisujemo nobelovemu nagrajencu Richardu Feynmanu, ki je leta 1959 idejo predstavil na svojem predavanju s naslovom "Na dnu je še veliko prostora". Tu je tudi nakazal možnosti za operiranje s posameznimi atomi. Izraz nanotehnologija je leta 1974 prvi uporabil Norio Taniguchi, ko je besedo definiral kot "proizvodno tehnologijo, s katero dosežemo izredno natančnost in ujemanje dimenzije" (Feynman, 1959). Feynmana je nasledil Eric K. Drexler, ki je na osnovi teorij Feynmana prvi definiral pojem "molekularna tehnologija". V dizajniranju proteinskih molekul je videl možnost izdelave molekularnih nanostrojcev, ki bi bili sposobni postaviti reaktivne skupine molekul z atomsko natančnostjo. Izraz nanotehnologija je sestavljen iz grške besede nano (palček), v znanstvenem jeziku pa se uporablja za delce velike 1 milijardinko metra. Največji problem nanotehnologije je, da z izdelavo le ene molekule ne dosežemo nič. Za učinkovito spremembo in dosežen cilj potrebujemo naprave, ki bodo izdelovale veliko število nanostruktur in hkrati izdelovale stroje za njihovo izdelavo. Ob izdelavi po Drexlerju imenovanih "nanorobotih" ali po angleško "assemblerjih", bi atome in molekule lahko postavili v želeni položaj za potek kemijske reakcije. To bi omogočilo izdelavo velikih objektov z atomsko natančnostjo, taka izdelava bi bila prijaznejša do okolja in cenejša. V naravi lahko vidimo že delujoča modela, to so ribosomi, ki proizvajajo proteine v vseh živih bitjih in bakterije. Proces je mogoče vpeljati na organskih in neorganskih molekulah. (Feynman, 1959)

3.1.1 Implementacija nanotehnologije v proizvodnjo

Nedavne študije so pokazale možnost implementacije ogljikovih nanocevk v razne polimerne kompozite. Nanotehnologija obljublja izdelavo novih kombiniranih materialov, ki bodo presegali navadne kompozite. Materiali bodo trši in bodo imeli višjo mejo tečenja. Imeli bodo nove mehanske lastnosti. Odlikovale jih bodo nove termične in radiacijske lastnosti in omogočali bodo kombinacijo zaželenih lastnosti. Ti novi materiali bodo primerni za različne uspehe na vseh ravneh človeških dejavnosti. (Lister, 2011)

3.2 Izdelava plovil z novimi materiali

Za vpeljavo procesa potrebujemo vedenje o specifični izgradnji plovila, ki je sestavljeno iz trupa, palube, notranjega predela, motorjev, električnih inštrumentov in signalizacijskih naprav. Najverjetneje lahko največji učinek dosežemo pri inovaciji trupa. Ta lahko ponudi novo obliko, ki učinkuje na plovo in glisiranje plovila ali drugačne materiale izdelave plovila. Nanotehnologijo je že možno uporabiti pri procesu izdelave trupa, palube, kokpita ali notranjih delov. Na trgu so že obstoječi izdelki za premaz površine, ki omogočajo veliko bolj učinkovit učinek proti rasti alg na trupu plovila (antifouling) ter podaljšujejo obstojnost materiala. Zaradi svoje zgradbe in delovanja na nano nivoju povečujejo vodoodpornost. Na tržišču poznamo te izdelke pod kategorijami Boat Sealant - Anti Fouling (antivegetativni premazi in barve v navtiki).

3.3 Konkurenca

Podjetje Yamaha je leta 2009 testiralo novo plovilo z uporabo nanotehnologije. Izdelek je imel izboljšane lastnosti; teža je bila zmanjšana za 25 %. Podobno je ameriško podjetje Zynx leta 2010 izdelalo plovilo UVS za vojaške potrebe. Plovilo je bilo prav tako izdelano s pomočjo nanotehnologije. Oba izdelka prikazujeta pridobljene pozitivne lastnosti in narekujeta izdelavo nove generacije plovil. Predvidevamo, da bo imela nanotehnologija velik učinek na industrijo. Posebno bo vplivala na obrambno področje in na področja visokih zmogljivosti. Dejstvo je, da se ta industrija trenutno veliko bolj ukvarja z razvojem novih zlitin kot z novimi nanokompoziti. (Yamaha Motor Corporation, 2011)

4 IMPLEMENTACIJA

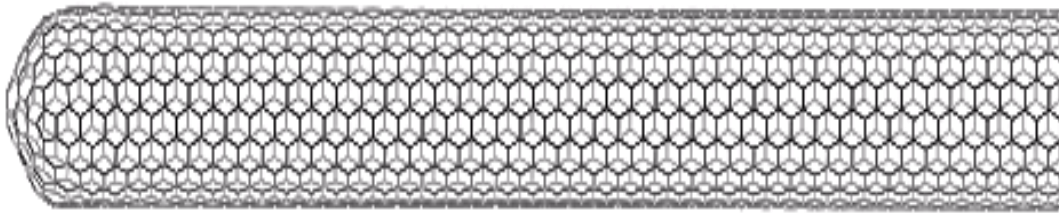
V poglavju bomo opisali zamisel uporabe nanotehnologije v materialih plovila Lexmar 6 SC. Podrobneje bomo predstavili ogljikove nanocevk, njihove lastnosti in njihovo zgodovino. Obrazložili bomo potek katalize. Opisali bomo tudi fullerene, nabavo nanomateriala in varnost pri delu z novimi materiali.

4.1 Zamisel

V kompozit epoksi steklovlakninske smole smo implementirali prašek iz ogljikovih nanocevk in fulerena C60. Ustvarili smo 8 tipov poskusnih modelov, ki imajo različne procentualne vsebnosti dodanega praška. Modeli so narejeni natančno po merah za izvedbo meritev. Za potrebo le-teh smo izdelali poskusne vzorce trupa plovila Lexmar 6 SC. Z raziskavo smo prikazali zmožnosti implementiranega materiala, ki bi bil primeren za zunanjo lupino plovila. Cilj raziskave je zmanjšanje mase plovila in doseganje višje trdnosti materiala pri procesu izdelave plovila. Da so meritve bolj natančne, smo ustvarili večje število vzorcev. Pri obdelavah meritev smo uporabili teorijo relativnih in absolutnih napak. Uporabili smo epoksidne smole, katalizator, material proti strjevanju, laminacijske vlaknine in laminacijsko ročno opremo. (Ratner, 2003)

4.2 Ogljikove nanocevk

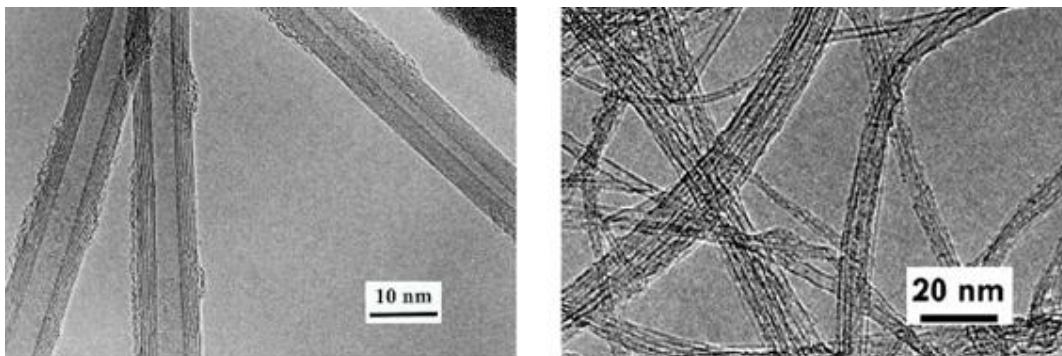
Ogljikove nanocevk so cevke molekularne velikosti iz grafitnega ogljika z izjemnimi lastnostmi (slika 9). Spadajo med najbolj poznane trdne in močne vlaknine, istočasno imajo izvrstne električne sposobnosti ter druge unikatne karakteristike materiala. Zaradi teh lastnosti privlačijo znanstvene in industrijske inovatorje. Vsako leto izide veliko število prispevkov na temo ogljikovih nanocevk, v katerih avtorji postavljajo teze in vprašanja o uporabnosti materiala. Komercialna uporaba se razvija počasi. Problem nastaja zaradi visokih stroškov proizvodnega procesa izdelave visokokvalitetnih ogljikovih nanocevk. A pričakujemo lahko, da bo z večjo uporabo tudi cena ogljikovih nanocevk padala, tako kot je padala cena nekdanjim inovativnim materialom, ki so bili ob začetku uporabe sicer zelo dragi. (Harris, 2009a)



Slika 9: Slika ogljikove nanocevke, pridobljena z elektronskim mikroskopom (Harris, 2009b)

4.2.1 Zgodovina ogljikovih nanocevk

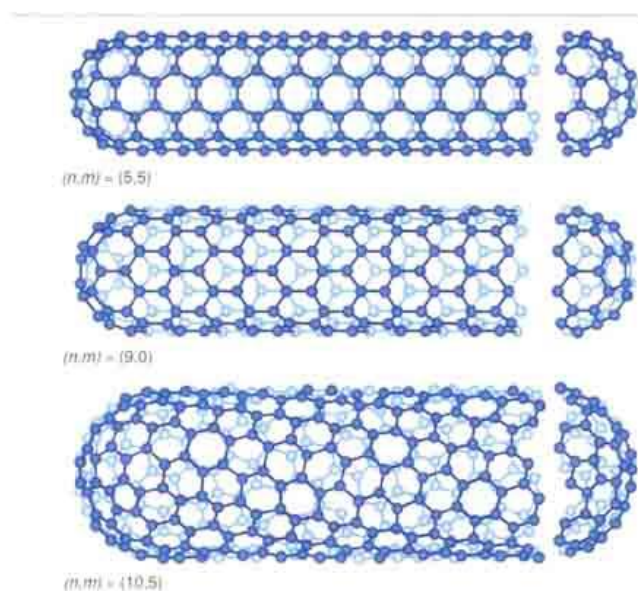
Veliko zanimanje za ogljikove nanomateriale je posledica sintez Buckminsterfullerena C₆₀ ter drugih fulerenov leta 1985. Ko so odkrili, da lahko ogljik tvori trdne, stabilne, urejene strukture namesto običajnih simuliranih grafnih ali kristalnih struktur, so se začele nove raziskave v svetovni sferi nanoraziskovalcev. Ti so ob odkritju Buckminsterfullerena C₆₀ začeli z inovativnim pristopom k raziskavam in se ob tem lahko odločali o novih pristopih o uporabnosti. Raziskave so dobile nov dodaten zagon leta 1990 z ugotovitvijo, da fuleren C₆₀ lahko izdelujemo v skoraj vsakem laboratoriju v preprostih obločnih celicah. Z porabo tega postopka je japonski znanstvenik Sumio Iijima leta 1991 odkril fulerenom sorodne ogljikove nanocevke. Nanocevke so vsebovale vsaj dva sloja, pogosto veliko več, ter obsegale med 3 in 30 nm. Bile so nespremenljivo zaprte na obeh koncih. (Ratner, 2003)



Slika 10: Prikaz struktur ogljikove nanocevke s pomočjo mikroskopa (Harris, 2009b)

Elektronska mikrografska projekcija na sliki 10 (levo) prikazuje večslojno nanocevko. Leta 1993 so odkrili nov razred ogljikovih nanocevk, katere so imele le en sloj. Te enoslojne ogljikove nanocevke so generično bolj ozke kot večslojne

nanocevke. Imajo značilne premere med 1 in 2 nm. Nagibajo se bolj h krivosti kot k ravnosti. Slika 10 (desno) prikazuje značilne enoslojne nanocevke. Na začetku raziskav so trdili, da imajo ti novi materiali izobilje posebnih lastnosti. To je vzpodbudilo nov zagon razvoja na področju ogljika in ogljikovih nanocevk. Pomembno je omeniti, da so bile ogljikove cevke nano velikosti, izdelane s postopkom katalize, poznane že v letih pred Iijimovim odkritjem. Tovrstne ogljikove nanocevke niso zagotovile zadostnega zanimanja, ker so bile njihove strukture dokaj nepopolne in tako niso dosegale optimalnih učinkov. Moderne raziskave se usmerjajo predvsem v učinkovitost izdelovalnega procesa in kvaliteto katalizno pridelanih ogljikovih nanocevk. (Harris, 2009b)

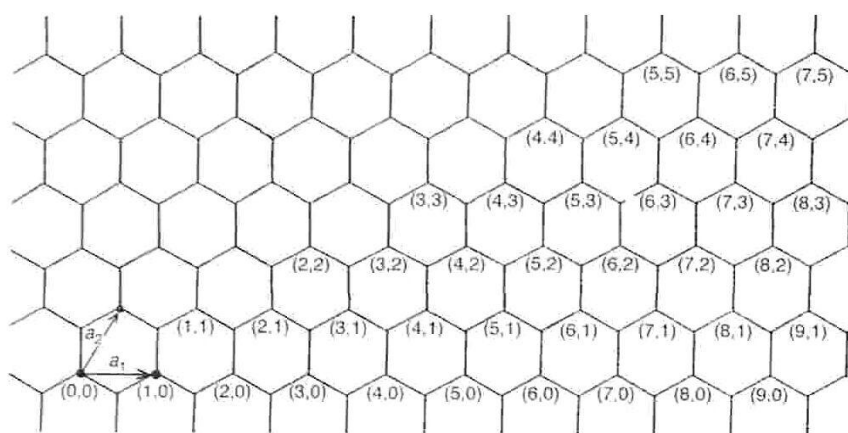


Slika 11: Prikaz "armchair" (zgornja), "zig-zag" (sredinska) in "chiral" (spodnja) struktur ogljikovih nanocevk (Harris, 2009b)

4.2.2 Struktura ogljikovih nanocevk

Orbitalna vezava v ogljikovih nanocevkah je sp^2 . Na tak način se vsak atom poveže na tri sosednje atome v strukturo grafita. Cevke so zato poznane kot zavaljeni individualni grafitni sloji. Imamo tri značilne smeri, v katere se zavijajo grafitni sloji v cevko (slika 11). Prva dva sloja sta poznana kot "armchair" in "zig-zag", in imata veliko stopnjo simetrije. Termina "armchair" in "zig-zag" povezujemo z določilom

razporeditve heksagonalno okoli obsega. Tretji razred cevkc se imenuje "chiral" in je praktično najbolj poznan in uporaben. "Chiral" obstaja lahko v dveh zrcalnih oblikah. Struktura ogljikove nanocevke je lahko specificirana z vektorjem (n, m) , ki definira zavrtost grafitne ploskve. To lahko povezujemo s sliko 12. Če želimo izdelati ogljikove nanocevke z indikatorjema $(6, 3)$, se zgledujemo po naslednjem primeru: ploskev je zavita gor, tako da je atom označen z $(0, 0)$ in je superimpoziran na ploskev $(6, 3)$. Lahko je razvidno iz oblike, da je $m=0$ za vse "zig-zag" cevke, medtem ko je $n=0$ za vse "armchair" cevke. (Harris, 2009a)



Slika 12: Vektorski prikaz strukture ogljikove nanocevke (Harris, 2009)

4.2.3 Sinteza ogljikovih nanocevkc

Standardna metoda, ki omogoča izdelavo ogljikovih nanocevkc višje kakovosti, je izdelava s pretokom električnega toka 50 amperov med dvema grafitnima elektrodama v helijevi atmosferi. Tako okolje prisili grafit v evaporacijo: nekaj snovi kondenzira na stenah reakcijskega telesa, nekaj pa na katodni cevi. Usedlina na katodni cevi vsebuje ogljikove nanocevke. Enoslojne nanocevke se ustvarjajo, ko anodi dodamo kemijska elementa Co ali Ni, ali kateri drug enako reaktivni material. Že od leta 1950 (če ne že prej) je znano, da so ogljikove nanocevke lahko izdelane tudi s stiskanjem plina z vsebnostjo ogljika, naprimer hidroogljika s pomočjo katalizatorja. Katalizator vsebuje materiale nanovelikosti, v večini primerov sestavljene iz kemijskih elementov Fe, Co ali Ni. Ti delci omogočajo katalizni proces razpadanja ogljikovega plina v čisti ogljik, kar povzroči rast cevi, katera ima na koncu špice železni delec. Postopek izdelave enoslojnih ogljikovih nanocevkc s

pomočjo katalize so predstavili leta 1996. Izboljšava tega procesa izdelave je bila večinoma manj financirana kot evaporacijska metoda izdelave. Kljub temu so znanstveniki izvedli velike napredke v procesu izdelave s katalizo. Velika prednost kataliznega procesa sinteze nad evaporacijskim procesom sinteze je, da lahko s procesom katalize omogočimo industrijsko proizvodno ogljikovih nanocevk. Tretja pomembna metoda izdelave ogljikovih nanocevk je narejena na podlagi uporabe velikega laserja, ker le tako dosežemo evaporacije železno grafitne tarče. S tem postopkom pridobivamo enoslojne ogljikove nanocevke z visokim izkoristkom. (Harris, 2009a)

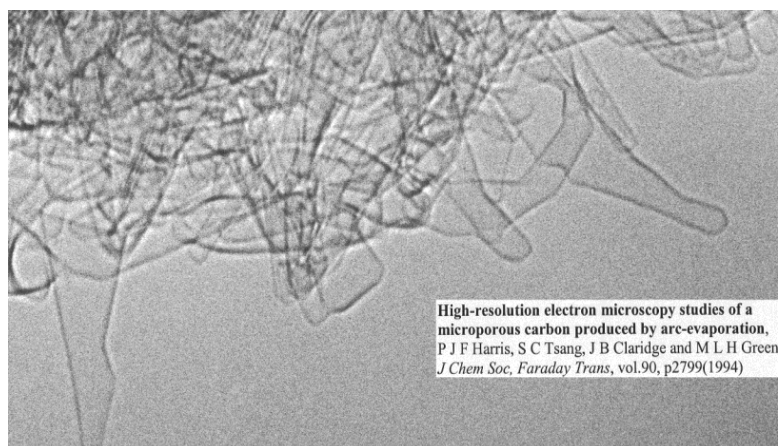
4.2.4 Lastnosti ogljikovih nanocevk

Trdnost ogljikovih nanocevk izvira iz atomskih vezi sp^2 . Te omogočajo tudi izjemen spekter mehanskih lastnosti materiala. Togost materiala meri Youngov modul elastičnosti, ki prikaže razmerje med deformacijo in podano napetostjo. Youngov modul elastičnosti najboljših ogljikovih nanocevk je ocenjen s 100 GPa (enota za gigapascal, meri se v kN/mm²), kar je približno petkratna vrednost jekla. Natezna trdnost povprečnih ogljikovih nanocevk je približno 63 GPa, kar je petdesetkrat več od jekla. Te lastnosti združene z lahkostjo ogljikovih nanocevk, omogočajo njihov velik potencial v obrambnih in vesoljskih aplikacijah, in nenazadnje tudi v navtiki. S pomočjo nanocevk naj bi zgradili tudi Vesoljsko dvigalo ("Space Elevator"), to bi bilo dvigalo, ki bi ga izdelali v celoti iz grafitnih nanocevk v obliki dolge cevi. Tako dvigalo bi omogočilo lahek razvoj novih aplikacij v vesolju in tako napovedalo novo obdobje vesoljskega razvoja. Izgradnjo takega vesoljskega dvigala je prvi predlagal Arthur C. Clarke. Zelo uporabne so tudi električne lastnosti ogljikovih nanocevk. Pomembno je tudi dejstvo, da so nanocevke glede na svojo strukturo lahko metalizirane ali polprevodne. Iz tega lahko predvidimo, da imajo nekatere ogljikove nanocevke višjo prevodnost kot baker, medtem ko se druge obnašajo bolj kot silicij. Veliko je zanimanje za izgradnjo elektronike nano velikosti in raziskave tega področja že potekajo. Če želimo izdelati uporabno elektronsko napravo, pa bi v resnici potrebovali organizirati več tisoč nanorobotov, ki bi to napravo sestavili na nano nivoju. Ti bi imeli programiran protokol in bi delovali sorazmerno porazdeljeno. Tega znanja žal še ne posedujemo. Ogljikove nanocevke sicer lahko nastopajo na mnogih področjih, in trenutno se uporabljajo tudi v specifičnih

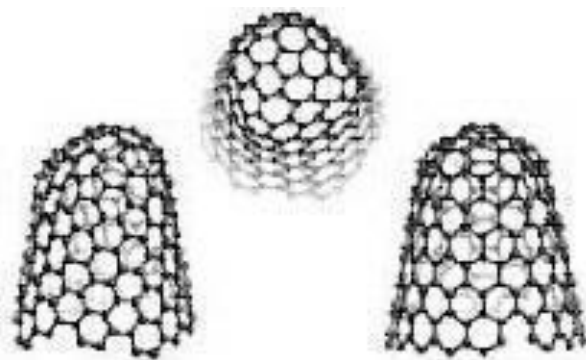
znanstvenih sektorjih. Potrebno je omeniti področje ravnih ozkih zaslonov, izvidnih teles, mikroskopov in vidnih naprav. Edinstvene sposobnosti ogljikovih nanocevk bodo v prihodnje zagotovo omogočale veliko novih aplikacij. (Harris, 2009a)

4.2.5 Nanorogovi

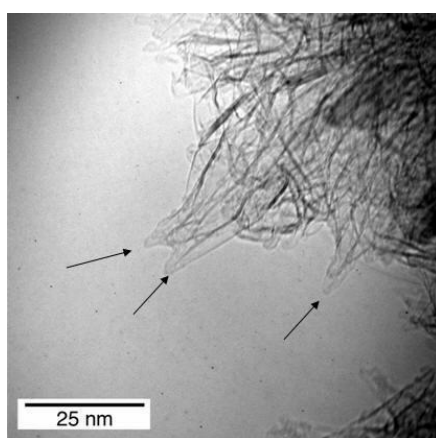
Nanorogovi so morfološki enoslojni stožci, podobni kopicam. Nanorogovi imajo premer 2 - 3 nm, njihova povprečna dolžina pa je 30 - 50 nm. Nanesen premer je približno 80 nm in je v obliki cvetka. Struktura nanorogov je prikazana na sliki 14. Take nanorogove so leta 1994 prvi izdelali Peter Harris, Edman Tsang in kolegi. Naredili so jih na podlagi visoko temperaturnih postopkov s fulereni (glej sliko 13) in v tej raziskavi niso sodelovali NEC znanstveniki kot je bilo zapisano v tiskovnem glasilu. Skupina Sumio Iijima je kasneje predstavila, da lahko tudi nanorogove izdelajo z uporabo laserske obdelave grafita. Stožce, ki so jih odkrili leta 1999, so poimenovali "nanohorns" (glej sliko 15). Ta skupina je tudi predstavila izjemno prilagodljivost in katalitične lastnosti nanorogov. Lahko jih uporabljamo tudi pri gorivnih celicah novih generacij. Podrobnosti o teh raziskavah so objavljene na NEC press release, CNN. (Migone, 2012)



Slika 13: Prikaz nanorogov s pomočjo visokoresolucijskega elektronskega mikroskopa (Migone, 2012)



Slika 14: Shema strukture nanoroga (Migone, 2012)



Slika 15: Prikaz nanorogov s pomočjo mikroskopa (25nm) (Migone, 2012)

4.3 Fulereni

Nobelovi nagrajenci na področja kemije so leta 1996 postali Harold W. Kroto, Robert F. Curl in Richard E. Smalley. To prestižno nagrado so prejeli za odkritje nove oblike obstoja ogljika, v kateri so atomi razporejeni v zaprtih lupinah. Ta nova oblika, ki so jo odkrili že leta 1985, je imela strukturo icosahedrona (geometrijska oblika polihedrona z dvajsetimi enakostraničnimi trikotnimi ploskvami, ki ima skupno 30 robov in 12 stičnih točk). Poimenovali so jo Buckminsterfullerene po arhitektu Buckminsterju Fullerju, ki je leta 1960 oblikoval "Geodesic domes". Pred tem so bile že poznane šest-kristalne oblike ogljika, večinoma iz dveh vrst grafitu, dveh vrst kristalov, chaoita ali ogljika (VI). Chaoit in ogljik (VI) so odkrili leta 1968 oziroma leta 1972. Fizika W. Krätschmer in D. R. Huffman sta leta 1990 prvič ustvarila izolirane količine fulerena C₆₀. To sta naredila s pomočjo pretoka električnega toka preko grafitne palice v helijevi atmosferi. Tako sta odprla pot

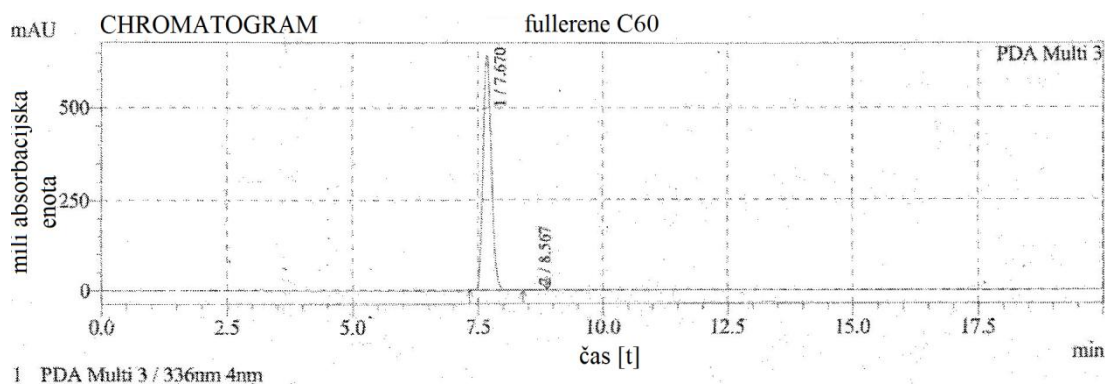
raziskavam fullerena C60. Iz teh raziskav so kasneje nastali še C70, C76, C78 in C84. Nove oblike, izdelane iz teh tvorb, so vedno znova presenetile z izjemnimi novimi lastnostmi. Tako se je razvilo kompletno novo področje znotraj kemije, ki je vplivalo na mnoga visokotehnološka področja. (Ebbesen, 1996)

4.3.1 Struktura fulerenov

Fulereni imajo za osnovo 20 heksagonalnih in 12 pentagonalnih obročev, v izosahedralni simetralni kletki podobni zaprti strukturi (slika 16). Vsak ogljikov atom je vezan na tri druge ogljikove atome in je sp^2 hibridiziran. Molekula C60 ima vezi dveh različnih razmerij: 6 : 6 krožne vezi, ki se smatrajo za "dvojne vezi" in so krajše od 6 : 5 vezi. Ker se C60 nagiba k izogibanju dvojne vezi v pentagonalnih krogih, kar posledično nanese nizko električno delokalizacijo, ni "superaromatičen". Rezultat tega je, da se C60 obnaša kot pomanjkljivi elektron alkena. Redno reagira z elektronsko bogatimi snovmi. Lastnosti geodetske in elektronske povezave omogočajo stabilnost molekule (slika 17). Teoretično bi lahko obstajalo neomejeno število fulerenov. Njihova struktura ima v osnovi pentagonalno ali heksagonalno obročno obliko, ki je primerna za nastanek icosahedrona. (Ebbesen, 1996)



Slika 16: Prikaz strukture fulerena (Harris, 2009b)



Slika 17: Graf lastnosti fulerenov (Harris, 2009b)

4.3.2 Buckminsterfulleren

Buckminsterfulleren je najmanjša molekula fullerena, ki vsebuje pentagonalne in heksagonalne obroče. V teh obročih si dve pentagonalni strukturi ne moreta deliti isti rob. Le na tak način je namreč lahko molekula stabilna. Oblika Buckminsterfullerena je tudi naravno najbolj pogosta in se lahko velikokrat nahaja v sajah. Struktura fullerena C₆₀ je okrnjena oblika icosahedrona, ki spominja na nogometno žogo. Sestavljena je iz 20 heksagonov in 12 pentagonov z ogljikovim atomom v vertikali vsakega poligona in z vezjo na vsakem robu poligona. Van der Wallsov premer fullerena C₆₀ je 1,1 nm, nuklearni premer pa je 0,71 nm. Povprečna dolžina vezi je 1,4 angstormov (1 angstrom je 1.0×10^{-10} m). Okrog metalnih ionov so ustvarili silikonske "buckyballs". (Ebbesen, 1996)

4.3.3 Aerosil

Kot medij razpršitve smo uporabili aerosil, ali preprosto povedano, steklo v prahu. To je zelo fin apirogen silikatni prah, ki vsebuje delce velikosti 200 nm z napako velikosti delcev +/-25nm. Za lažjo predstavo: če bi z dlani izpihali tak prah, bi nastal oblak finega belega prahu. Ta medij smo izbrali, ker smo morali čim bolj uspešno razporediti implementirane nanomateriale. Aerosil smo pridobili v podjetju Blumar d.o.o. v Vrhovljah. Sicer pa se ta material uporablja v prenekateri industriji. V navtiki naprimer omogoča izboljšanje laminacijskega procesa.

4.3.4 Nabava nanomaterialov

Prašek iz ogljikovih nanocevk in fullerene smo v sodelovanju z mentorjem prof. dr. Božidarjem Šarlerjem pridobili od Radovana Grapulina, zaposlenega na Centeru odličnosti za biosenzoriko, instrumentacijo in procesno kontrolo (COBIK). Postopek nabave materiala je dolgotrajnejši zaradi redkosti materiala na trgu. Za nabavo vzorca je poskrbel Bojan Senčič, pomočnik direktorja podjetja Štore Steel d.o.o. ter sodelavec COBIK. Material je tehnološko zahteven, pridobili smo ga v BUCKY USA, 9402 Alberene DR, Houston, TX, Postal Code 77047 (E-mail: jrodrigue@ntxcorp.com) v Združenih državah Amerike. Material je bil nabavljen v okviru Laboratorja za sisteme z naprednimi materiali COBIK, v okviru projektne točke: Vpeljava ogljikovih nanomaterialov v industrijsko proizvodnjo.

4.4 Izdelava preizkusnih vzorcev

Vzorci za meritve smo izdelali s postopkom ročne laminacije. Vzorci so prilagojeni dimenzijskim specifikacijam preizkusnih strojev. Za natezni preizkus in preizkus na Charpyjevem kladivu (glej sliko 18) smo izdelali osem različnih vrst vzorcev. Za preizkus smo uporabili epoksidno smolo, dve vrsti laminacijske tkanine, katalizator, aerosil, fullerene ter ogljikove nanocevke. Postavili smo laminacijsko bazo, v našem primeru stekleno površino. To bazo smo premazali z dvema plastema materiala, ki onemogoča vezavo kompozita na bazo (ločilno sredstvo v obliki tekočine, ki se na zraku posuši ter pusti na kalupu tanek polivinilni film, poznano pod imenom PVN). Najprej smo bazo popolnoma očistili in jo premazali s prvo plastjo protivezivnega materiala. Čez 10 minut smo postopek ponovili. Material smo nato pustili stabilizirati 30 minut. V tem času smo zamešali prvi vzorec smole, ki je bil neimplementiran vzorec materiala (slika 20). Snov smo mešali ročno v steklenih posodah s pomočjo železne paličice. Uporabili smo 2/3 litra dvokomponentne epoksidne smole za ročno laminacijo ter 1/3 litra katalizatorja (vodikov peroksid, formula: H_2O_2). Snov smo premešali ter jo nanесли na bazo. Nato smo na nanošeno plast položili redkejšo laminacijsko tkanino (steklena tkanina v klasičnem pletenju, 280 g/m^2). Na to tkanino smo ponovno nanесли zmes smole in katalizatorja. Postopek smo ponovili do tretje plasti tkanine. Četrta plast je bila iz gostejše laminacijske tkanine (steklena tkanina v keper pletenju, 160 g/m^2). Nad to plastjo smo nanесли zmes ter nanjo po prej opisanem postopku položili še tri plasti redkejše laminacijske. Da smo dosegli suho in ojačeno strukturo, smo kompozit dobro obdelali s trdimi laminacijskimi mlinčki. Ti potisnejo odvečen material na stran in strukturo enakomerno izravnavajo. Proces mešanja in kataliza sta potekala pri temperaturah nad 16°C . Nastala je zmes, ki je bila prozorne rumenkaste barve, precej čista in nemotna. Slika 19 prikazuje vse vzorce materialov po končanem procesu.



Slika 18: Končna stopnja v izdelavi vzorcev za udarni preizkus

Sledila je priprava vzorca z implementiranimi fulereni (slika 20). Za to zmes smo predhodno zamešali 0,6 grama fulerenov in 0,6 grama aerosila. Zmes fulerenov in aerosila smo počasi vmešali v zmes smole in katalizatorja, katera je bila enaka zmesi za prvi poizkusni material (1/3 l katalizatorja in 2/3 l epoksidne smole). Zmes smo dobro premešali ter ponovili postopek, uporabljen za laminacijo prvega testnega materiala. Barva zmesi je bila tokrat bolj rjava in motna.

Sledila je izdelava preizkusnega materiala z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami (slika 21). Najprej smo zamešali 0,3 grama ogljikovih nanocevk in 0,85 grama aerosila. Material smo poskušali čim bolj razpršiti ter porušiti predhodne grude. Tej zmesi smo počasi dodajali zmes smole in katalizatorja, ki je bila enaka prvotni in sekundarni zmesi. Počasi smo vse materiale zamešali tako, da so se nanocevke čim bolj razporedile po zmesi. Nato smo ponovili postopek ročne laminacije. Zaradi razporeditve ogljikovih nanocevk je bila tokrat zmes bolj črna. V njej smo lahko opazili veliko število črnih pikic.

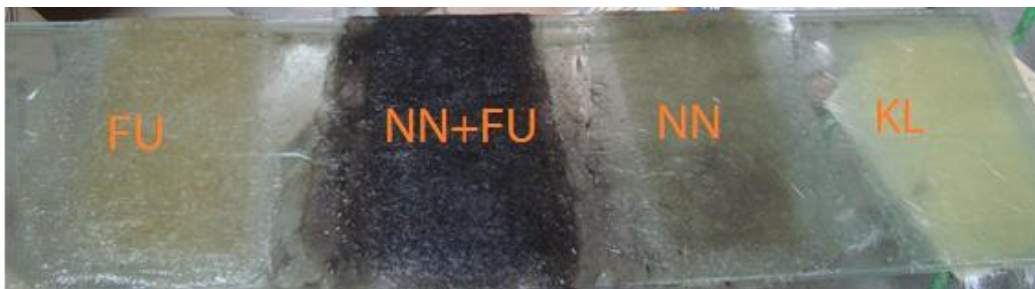
V četrtem preizkusu je nastala najbolj gosta zmes (slika 22). Najprej smo zamešali 0,5 grama fulerenov in 0,5 grama aerosila. Snov smo poskušali čim bolj razdrobiti. V drugi posodi smo nato zamešali še 0,5 grama aerosila in 0,85 grama ogljikovih nanocevk. Tudi tokrat smo ogljikove nanocevke in aerosil poizkusili razdrobiti na čim manjše delce. Obe nastali zmesi smo zamešali ter ponovili postopek mešanja. Počasi smo dodali enako zmes epoksidne smole in katalizatorja. Implementirano snov smo poizkusili čim bolj enakomerno razporediti v zmesi. V tem zadnjem primeru

smo dobili temno zmes, podobno barvi črnega premoga. Ponovili smo postopek ročne laminacije. Lamine smo dva dni prepustili procesu katalize. S temi postopki smo pridobili kompozite, katerih debelina je primerna za izdelavo vzorcev nateznega preizkusa. Za vzorce udarnega kladiva smo na polovico narejenih vzorcev nanegli sekundarno plast smolne zmesi. V drugem nanosu nismo uporabili implementiranega materiala, saj je testno območje udarnega kladiva pod višino implementirane zmesi. Zmes smo ustvarili po predhodnem postopku, kjer smo uporabili 2/3 litra epoksidne smole in 1/3 litra katalizatorja. Nanesli smo najprej tri plasti redkejša laminirne tkanine, nato eno plast gostejše laminirne tkanine ter nad njo še dve plasti redkejša laminirne tkanine.

Tabela 1: Sestava novih nanostrukturiranih materialov

material	epoksi smola (ml)	katalizator (ml)	ogljikove nanocevke (g)	fulereni (g)	aerosil (g)	koncentracija (%)
epoksi	666	333	0	0	0	0
epoksi+ogljikove nanocevke + aerosil	666	333	0,3	0	0,85	0.135
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil	666	333	0,5	0,85	1	0.235
epoksi+fulereni +aerosil	666	333	0	0,6	0,6	0.12
legenda (sledеče tabele)			NN	FU		

Tabela 1 prikazuje količine zmesi v preizkusnih kompozitih. Koncentracija pomeni količino implementiranega materiala v industrijsko uporabljeno zmes za laminiranje. Zmes smo za štiri dni prepustili procesu katalize. V vseh primerih je kataliza potekala dokaj enakomerno in brez težav v reakcijskem postopku. Na ožjem laminatu smo narisali rezne črte za izdelavo vzorčnih materialov. Vzorec laminata smo izrezali s pomočjo cirkularne žage. Tu smo opazili različne tipe odzivnosti materiala na cirkularni rez. Opazili smo, da se je vzorec z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami ob rezu najmanj trgal. Na drugih vzorcih je bila razlika premajhna za določitev realnih razlik v materialu.



Slika 19: Prikaz poteka katalize na izdelanih materialih



Slika 20: Material z implementiranimi fulereni (FU)



Slika 21: Material z implementiranimi fulereni in ogljikovimi nanocevkami (NN+FU)



Slika 22: Material z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami (NN)



Slika 23: Material brez implementiranih primesi (trenutno uporabljeni material trupa plovila)

4.4.1 Varnost pri rokovanju z materiali

Pri procesu izdelave vzorcev smo uporabljali toksične materiale. Veliko je bilo prašnih delcev in hlapov. Smole ne sodijo med zelo nevarne materiale. Katalizatorji pa predstavljajo nevarnost za oči, usta ali kožo. Ogljikove nanocevke, fulereni in aerosil so zaradi majhnosti nevarni za oči, usta, dihalne poti ali kožo. Zato smo se po predpisanih delovnih standardih primerno zaščitili. Poskušali smo prekriti vso površino izpostavljenih telesnih delov. Telo smo nepredušno prekrili. Uporabili smo zaščitna tesnilna očala ter zaščitno ogljikovo dihalno masko. Mešanje smo opravili v zaprtem prostoru, laminacijski proces pa na odprtem zračnem prostoru. Ob mešanju smo material zajemali s prirejenimi zajemalkami in mešanje izvajali v zaprtih posodah. V prostoru laminacijskega procesa smo se zadrževali v izmenah po 15 minut.

4.4.2 Kataliza

Kataliza se pri procesu laminacije izvaja zaradi nujnosti pospešitve pri strjevanju materiala. Kataliza je pospeševanje ali upočasnjevanje poteka kemijske reakcije z uporabo dodatne snovi. To snov imenujemo katalizator in pri reakciji ne pride do sprememb strukture epoksi smole. Katalizator pospešuje, inhibitor pa zavira proces. V našem primeru pospešuje sušenje in strjevanje snovi. Tako reakcijo imenujemo homogena reakcija. Z reaktantom katalizator tvori homogeno zmes. Nasprotje takih katalizatorjev so snovi, ki jih imenujemo inhibitorji ali zaviralci.

4.4.3 Vzorci za natezni preizkus

Vzorci za natezni preizkus smo izdelali po specifikacijah nateznega merilnika. Približna dolžina vzorcev je 150 mm, približna širina 30 mm, približna višina pa 3 - 5 mm. Na laminat smo narisali načrtne linije ter ga rezali s cirkularno žago (slika 24). Pri tem smo rezali le notranji material laminata, ker so to materiali enakih debelin z močnejšimi nanosi (slika 25). Slika 26 prikazuje pripravo novega materiala za izvedbo rezov. Odrezke smo shranili za uporabo pri morebitnih nadaljnjih preizkusih. S prostim očesom opazna razlika reza je bila le pri vzorcu z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami ter fulereni. Vzorci so prilagojeni nateznemu merilniku, ki jih vpne po dolžini iz dveh smeri.



Slika 24: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (levo: material s primesjo ogljikovih nanocevk, desno: klasičen epoksi material)



Slika 25: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (levo material s primesjo fulerenov, desno material s primesjo ogljikovih nanocevk in fulerenov)



Slika 26: Prikaz postopka izdelave vzorcev materiala za natezni preizkus (material s primesjo ogljikovih nanocevk in fulerenov)

4.4.4 Vzorci za udarni preizkus

Za udarni preizkus potrebujemo po meri narejene vzorce: dolžine 100 mm, širine 10 mm in višine 10 mm (slika 28). V sredini imajo vrezan del, na katerega udari kladivo. Vrezani del variira glede na moč udarnega kladiva. Vzorce smo izdelali ročno s pomočjo fine žage (slika 27). Za brušenje vzorcev pravih velikosti smo potrebovali veliko časa.



Slika 27: Vzorci za udarni preizkus pred brušenjem



Slika 28: Končni vzorci za udarni preizkus

4.4.5 Izpopolnitev ideje

Da dosežemo optimalni izkoristek implementiranega materiala, moramo ogljikove nanocevke v zmes vmešati že med samo izdelavo epoksi smole. Zmožnost te tehnologije ima le nekaj podjetij na svetu. Najbolj poznano je Color d.d. Medvode v Sloveniji. Ob realizaciji take ideje bi novi implementiran material dosegal zgornje meje svojih zmožnosti, ker bi bolje in lažje povezal molekule. Ideja stremi tudi k izdelavi materiala za mednarodno tržišče. Podjetje, ki bi to vključilo v proces svoje proizvodnje, bi lahko epoksi maso zaradi visokotehnološke obdelave prodajalo z visokim dobičkom. Naj vnovič poudarimo da je nanotehnologija veda v povojih in še ni povsem razkrila svojih naslutnih potencialov.

5 MERITEV

V poglavju opišemo izvedbo meritev, uporabljene stroje in preizkusne elemente. Prikazali bomo tudi računanje z merskimi napakami in postopke pri meritvah.

5.1 Izvedba

Meritve je opravil gospod Milivoj Kačič (stik z njim je omogočil Edvard Remich, mentor na podjetju Navimar d.o.o.), univ. dipl. inž. v merilnici Tehniškega šolskega centra Nova Gorica (TŠC). Prilagojene so industrijskim standardom, ki nam jih je posredovalo nemško podjetje Germanischer Lloyd. To podjetje tudi opredeljuje materiale na področju infuzijske in laminacijske tehnologije epoksidnih smol. Z rezultati želimo prepoznati lastnosti materiala za uporabo v kompozitnih epoksi materialih in direktno možnost ponudbe specifičnega materiala z industrijskimi lastnostmi uporabe na svetovnem tržišču. Uporabljene preizkusne materiale smo pred meritvijo stehali, saj so različno reagirali na laminacijski proces. Glede na maso in pridobljene podatke preizkusa smo izračunali kvocient trdnosti in lomljivosti. Podatke smo vnesli v tabelo absolutnih in relativnih napak. Tako smo pridobili realne vrednosti preizkušenih elementov.

5.2 Uporabljeni merilni stroji

V merilnici Tehniškega šolskega centra Nova Gorica smo uporabili namenske merilne stroje za natezni in udarni preizkus (slika 29). Merilni stroji določajo lastnosti materialov glede na aplicirano silo na površino.



Slika 29: Naprava za natezni preizkus (TŠC)

5.2.1 Udarni preizkus

Udarni preizkus prikaže odpornost "preizkušnega" materiala na udarce. Zaradi udarne obremenitve se materialom zmanjša žilavost, kar se odraža v krhkem lomu, ki nastane brez opazne plastične deformacije. Do krhkega loma pride zaradi nizkih temperatur, daljšega stanja napetosti ali koncentracije napetosti v materialu. Največji vpliv na pojav krhkega loma ima koncentracija napetosti v materialu. Te napetosti se običajno pojavljajo v zarezah. Preizkus udarne napetosti se izvaja na posebno oblikovanih ISO standardnih modelih. V teh modelih je narejena zarez v obliki črke U ali V. Merilo žilavosti materiala je delo, ki je potrebno za prelom "preizkušanca". Za naše meritve smo uporabili napravo za udarni preizkus v TŠČ Nova Gorica. Pri meritvi uporabljamo standard ISO 9000. Tabela 2 prikazuje pridobljene podatke udarnih preizkusov na preizkušanih materialih.

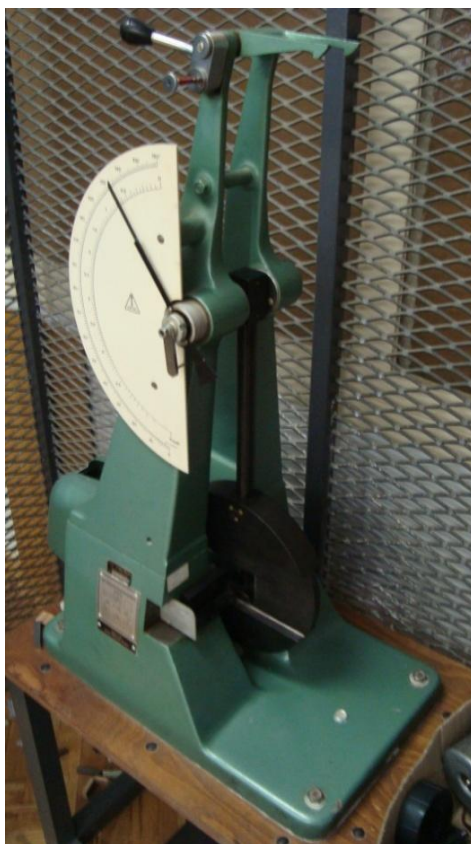
Tabela 2: Prikaz podatkov udarnega preizkusa na TŠC

material vzorec n	širina udarne ploskve (mm)	lomna površina (mm)	udarno delo [J]	udarna žilavost (δ) [J/mm ²]
epoksi vzorec 1	9,7	3,55	2,94	0,085
epoksi vzorec 2	10,5	3,72	3,43	0,088
epoksi vzorec 3	9,7	3,61	3,14	0,09
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 1	10,26	3,27	3,53	0,105
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 2	9,9	3,36	3,43	0,103
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 3	9,89	2,98	3,43	0,116
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 1	10,3	3,1	4,12	0,129
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 2	10,3	4,26	4,41	0,101
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 3	10,6	3,14	5,59	0,149
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 1	10,36	3,53	5,4	0,148
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 2	10,4	3,84	5,1	0,127
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 3	10,49	4,39	5,87	0,127

5.2.2 Charpyjev udarni preizkus

Preizkus so leta 1905 poimenovali po francoskem fiziku Georgesu Charpyju. Slika 30 prikazuje Charpyjevo udarno kladivo na TŠC Nova Gorica. Po Charpyjevi metodi se preizkus udarne žilavosti materiala izvede z uporabo udarnega kladiva. Potek metode je naslednji: tako imenovano udarno kladivo izpustimo iz določene višine ($\alpha_1 = 160^\circ$), v svoji najnižji legi ($\alpha = 0^\circ$) kladivo zadane model preizkušene materiala. Ta model postavimo med dve podpori, ki sta ena od druge oddaljeni za 40 mm. Kladivo nato zaniha v nasprotno smer ($\alpha_2 = ?$). Iz razlike med višino (α_1) spusta kladiva do višine, kjer je kladivo zanihalo (α_2), lahko izračunamo potrebno delo za prelom preizkušene modela. Udarno delo računamo s formulo; $K = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = m \cdot g \cdot L \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$, pri čemer je m - masa kladiva, g - gravitacijski pospešek, h - višina udarnega kladiva, L - dolžina kladiva, α_1 in α_2 - začetni in končni kot. Udarno žilavost izračunamo po enačbi (1).

$$\delta = \frac{W}{\delta_0} \quad (1)$$



Slika 30: Charpyjevo udarno kladivo (TŠC)

5.2.3 Prehodna temperaturna žilavost

Žilavost materialov je odvisna predvsem od temperature pri izvajanju preizkusa. Žilav material pod določeno temperaturo postane popolnoma krhek. V tem primeru je pomembno, da predhodno ugotovimo temperaturo žilavosti, pod katero materiala ne uporabljamo. Prehodno temperaturo žilavosti si predstavljamo s pomočjo izračuna srednje žilavosti. Enačba žilavosti je sestavljena iz $K = K_{\max}$ (največja udarna žilavost) in K_{\min} (najmanjša udarna žilavost). Iz znanih podatkov vemo, da je prehodna temperaturna žilavost pomemben kriterij pri izbiri materiala. Pri nizkih temperaturah so zelo uporabne kovine ali zlitine s ploskovno centrirano kubično (PCK) kristalno mrežo. Primeri takega materiala so avstenitno jeklo, nikelj ali nikljeve zlitine, pri katerih žilavost ni odvisna od temperature.

5.2.4 Natezni preizkus

Natezni preizkus sodi med temeljne mehanske preizkuse. Z njim ugotavljamo trdnostne lastnosti kovin in zlitin, mejo plastičnosti, natezno trdnost in modul elastičnosti. Vse te pridobljene podatke lahko uporabimo za izračun trdnosti konstrukcijskih elementov struktur. Preizkušen element ali modul obremenimo z enoosno natezno napetostjo. Med preizkusom napetost v elementu raste vse do praga lomljivosti. Ta preizkus sodi med kvazistatične preizkuse. V merilnici Iskra Avtoelektrika d.d. smo uporabljali natezno napravo znamke Zwick Roell (slika 32). Stroj se drži standarda QB in DIN ISO. Meritve je opravil gospod Klavdij Čebren, zaposlen v Iskra Avtoelektrika d.d. Dodatne meritve so bile opravljene v TŠČ Nova Gorica. Uporabljeni standardni trgalni preizkus uporablja standard ISO 9000. Prikazali smo elastoplastične lastnosti preizkušanih materialov. Natezno žilavost materiala izračunamo po enačbi (2).

$$\sigma = \frac{F}{\delta_0} \quad (2)$$

Tabela 3: Tabela podatkov nateznega preizkusa

material vzorec n	širina vzorca (mm)	višina vzorca (mm)	raztezna sila [N]	natezna trdnost (σ) [N/mm ²]
epoksi vzorec 1	30,37	6,21	16670	88,29
epoksi vzorec 2	30,28	6,43	16190	83,15
epoksi vzorec 3	30,21	5,95	16870	93,85
epoksi vzorec 4	31,63	5,7	16580	91,96
epoksi vzorec 5	29,8	5	13660	91,68
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 1	28,7	4,69	15009	111,5
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 2	29	5,24	17658	116,2
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 3	29	4,9	13734	96,65
epoksi+ogljikove nanocevke +fuleren +aerosil vzorec 4	28,7	5,06	17266	118,89
epoksi+ogljikove nanocevke +fulereni+aerosil vzorec 5	29	4	17411	155,45
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 1	30,23	4,73	12262	85,75
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 2	31,15	5,36	13930	83,43
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 3	30,6	5	15696	102,59
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 4	30,87	5,86	19816	109,54
epoksi+ogljikove nanocevke +aerosil vzorec 5	30	5	18978	126,52
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 1	30,78	5,2	15696	98,06
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 2	30,71	5,57	17952	104,95
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 3	30,1	4,83	14715	101,21
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 4	30,9	5,05	15696	100,59
epoksi+fulereni +aerosil vzorec 5	30	5	15563	103,75

Test implementirane epoksidne smole

Leading : Test implementirane epoksidne smole

Začetna F: 15 N
Hitrost p: 0,008 1/s

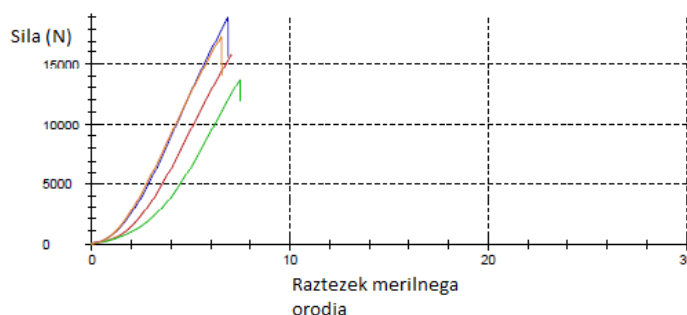
D= debelina vzorca
V= širina vzorca

Test results:

Legenda	Št.	Sila (N)		Uporabljeni material za izdelavo vzorca	D	V
		σ_M	N			
	1	15762,98		Fulereni + Aerosil	3,0	5
	2	13660,63		Klasičen kompozit brez dodatkov	2,98	5
	3	18978,23		Ogljikove nanocevke + Aeorsil	3,0	5
	4	17410,77		Ogljikove nanocevke + Fulereni + Aerosil	2,9	4

(cm) (mm)

Series graph:



Statistika:

10.000 N = 1 tona

Serijska	σ_M	N
n=4		
\bar{x}	16453,18	
s	2277,98	
v	13,85	

Slika 31: Grafični prikaz rezultatov nateznega preizkusa

Slika 31 prikazuje graf opravljenih preizkusov v merilnici Iskra Avtoelektrika d.d. Navpično je prikazana aplicirana sila v N (newtonih), vodoravno pa standardni odmik merilnega orodja v mm. Rdeča barva je rezultat kompozita s primesjo fulerenov, zelena barva prikazuje rezultat kompozita brez primesi, plava barva prikazuje rezultat materiala z implementiranimi ogljikovimi nanocevkami in rjava barva prikazuje rezultat kompozita s primesjo ogljikovih nanocevk in fulerenov. V spodnjem levem kotu so prikazane statistike: n = število meritev, x = povprečna vrednost, povprečni odmik in frekvenca. Iz grafa je razvidno, da ima kompozit s primesjo ogljikovih nanocevk najvišjo odpornost. (Kraut, 2003)



Slika 32: Naprava za natezni preizkus Zwick Roell (Iskra Avtoelektrika d.d.)

5.2.5 Preizkusni elementi

Za izpeljavo preizkusa uporabimo sorazmerne preizkusne elemente. Ti so izdelani po predhodno določenih merah: S_0 (prečni prerez) in L_0 (začetni prerez - začetna merilna dolžina). Za potrebe preizkusa uporabljamo sorazmerne "preizkušance", ki so izdelani po določenih merah za S_0 in L_0 . Tako ločimo kratke in dolge preizkusne elemente. Za kratke preizkusne elemente velja $L_0=5,65\sqrt{S_0}$ in $L_0=5d_0$ (drugi velja le za "preizkušance" s krožnim prečnim prerezom). Za dolge preizkusne elemente velja $L_0=11,3\sqrt{S_0}$ in $L_0=10d_0$ (drugi velja le za "preizkušance" s krožnim prečnim prerezom). Preizkusni elementi so predhodno prilagojeni preizkusni napravi, običajno kroglastega ali pravokotnega prereza. Na srednjem predelu so tanjši, nekateri imajo zarezo. Ta osrednji del označujemo z L_c = konstanten prerez. Pri kroglastih preizkusnih modelih je prerez v delu, kateri gre v primež naprave običajno povečan in zaobljen. "Preizkušance" pravokotnega prereza večinoma uporabljajo za preizkušanje pločevine. Razmerje med širino in debelino za te modele sme biti največ 4:1. Neobdelane preizkusne elemente uporabljamo običajno za preizkušanje profilov, palic, vrvi ali cevi z majhnimi prerezi. Premeri cevi, ki jih uporabljamo v teh poizkusih, lahko merijo največ 30 mm. Večje cevi ali cevi z debelejšimi stenami pa preizkušamo tako, da iz njih izrežemo košček stene ali trak in iz tega izdelamo preizkusni model. (Kraut, 2003)



Slika 33: Primeri lomnih površin vzorcev novih materialov po opravljenem preizkusu na Charpyjevem kladivu

5.2.6 Označbe dolžin in prerez "preizkušanca"

Natezne preizkuse izvajamo na posebno prilagojenih trgalnih strojih. Taki stroji imajo predpisano enakomerno naraščajočo hitrost obremenjevanja preizkusnega modula. Trgalni stroji morajo omogočati opazovanje odvisnosti med obremenilno silo in raztegom modula. Te odvisnosti prikazujejo numerično ali grafično. Nekateri stroji izdelajo tudi računalniški graf poteka raztezka. Starejši stroji izrišejo diagrame sile in raztezka merilnega orodja ($F - \Delta L$), novejši pa elektronske podatke hkrati preučujejo in s pomočjo računalniških algoritmov preračunavajo trenutno razmerje med napetostjo in raztekom ($\sigma - \varepsilon$). Kovinski materiali omogočijo dve značilni obliki diagramov: prvi je diagram z izrazito mejo tečenja (ali tako imenovano mejo plastičnosti), drugi diagram pa nima izrazite meje tečenja. Pri začetnem obremenjevanju se materiali raztezajo elastično, kar pomeni, da se ob odvzemu obremenitve testni modul vrne v začetno obliko. Raztezek je premo sorazmeren z napetostjo. Ta proces lepo opiše Hookov zakon ($\sigma = \varepsilon \cdot E$). Mejo napetosti, kjer se začnejo materiali plastično deformirati, imenujemo napetost tečenja (ali mejo plastičnosti). To mejo določimo z uporabo napetosti, pri kateri ostane po razbremenitvi določen najmanjši delež trajnega raztezka. Tehniška meja elastičnosti je dogovorjena z vrednostjo ($\varepsilon = 0,2 \%$) trajnega raztezka. Za tehniške vede je najbolj zanimiv prehod v makroplastičnost. Diagram nima jasnega prehoda, če mu primanjkuje izrazita napetost tečenja. Zato obstaja dogovor, da je napetost tečenja dogovorjena z $R_{0,2}$ ($\varepsilon = 0,2 \%$) trajne deformacije. Z nadaljnjo deformacijo se snovi

utrjujejo, zato je za dodatno deformacijo potrebna dodatna povečana napetost ali obremenitev. Natezno trdnost ali R_m izračunamo iz največje obremenitve, ki jo material še zdrži. Formula največje deformacije je $R_m = F_m / S_0$. "Preizkušanci" se enakomerno raztezajo vse do točke, ko je dosežena največja obremenitev. Medtem ko se krhki materiali pretrgajo, pa se žilavi materiali, ali materiali z dobrimi plastičnimi lastnostmi, raztezajo vse do trenutka, ko se na enem mestu začnejo zoževati. Sila, potrebna za doseganje deformacije, se zaradi zmanjšanja prereza preizkušene materiala začne zmanjševati. Potek raztezanja je odvisen od napetosti. Razlikuje se glede na vrsto materiala, za določene vrste pa je značilen. Materiale razlikujemo po obliki diagrama $R - \epsilon$. Žilavi materiali se po začetnem linearnem ali elastičnem raztezanju raztegnejo do pretrga. Ta potek je močno plastičen in poteka zvezno s pojavom tečenja pri stalni napetosti. Primer takega pojava je mehko jeklo. Krhki materiali se po začetnem elastičnem raztezanju pretrgajo brez plastičnega raztezanja. Primer takega materiala je siva litina. Plastični materiali se raztezajo neznatno elastično ali skoraj neelastično. Primer takega materiala je svinec. Navadni natezni preizkus ponavljamo vse do trenutka, ko se preizkušan material ne poruši. Pri tem določimo napetost tečenja, natezno trdnost, raztezek in kontrakcijo porušenca ob poružitvi. Po zlomu združimo pretrgana dela in s pomočjo pomičnega merila izmerimo končno merilno dolžino označeno z L_u . Nato izračunamo razteznost ali raztezek ob poružitvi. Formula izračuna poružitve je: $A = (L_u - L_0) / L_0 = \Delta L_0 / L_0$. Na mestu, kjer se je "preizkušanec" pretrgal izvedemo prečni krožni prerez. Izmerimo najmanjši premer označen z d_u . Najmanjšo dolžino roba, označeno z a_u in b_u , dobimo s pravokotnim prečnim prerezom. Iz pridobljenih podatkov izračunamo kontrakcijo ali zoženost označeno z Z . Formula izračuna kontrakcije je $Z = (S_0 - S_u) / S_u$, pri čemer je S_u prerez "preizkušanca" pri poružitvi, S_0 pa začetni prerez. (Kraut, 2003),

5.2.7 Standard ISO 9000

Družino standardov ISO 9000 se uporablja za upravljanje kontrole sistemov. Oblikovani so tako, da organizacijam zagotavljajo ustrežanje potreb kupcev. Standarde izdaja Mednarodna organizacija za standarde (ISO) v sodelovanju z nacionalnimi upravami standardov. Za izpolnjevanje doseganja standarda mora

organizacija na vseh opredeljenih področjih dosegati zahtevane obveznosti, kontrolo kvalitete strojev in produktov.

5.2.8 Absolutna in relativna napaka meritve

Merske napake nastajajo zaradi neprimerno izbranih merskih enot, nenatančnega odčitavanja vrednosti skale ali zaradi različnega ocenjevanja na desetinko enote. Takim napakam se izognemo z uvedbo sistematične meritve in z opravljanjem večjega števila meritev. Napake so lahko neodvisne ali odvisne od nas. Lahko se zgodijo naključno ali zaradi okolja, v katerem se izvajajo meritve. Napake zmanjšamo s kontrolo merskih naprav, s kontrolo postopkov, z natančnim merjenjem in s stabiliziranjem meritve. Razred merila je oznaka na merilu, ki pove, kolikšna je največja sistematična napaka, ki nastane pri merjenju s tem merilom. Primer je razred 1,5, kar pomeni 1,5 % napako obsega merila. Povprečna vrednost je najverjetnejša vrednost merjenja količine. Aritmetična sredina pa predstavi bližino srednje vrednosti pravi meritvi. Aritmetično sredino izračunamo po enačbi (3).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{\text{posamezne izmerjene vrednosti}}{\text{število meritev}} \quad (3)$$

Aritmetična sredina je odvisna od razlike pri meritvah. Maksimalni odmik pove maksimalno odstopanje od srednje vrednosti. To odstopanje se kaže v obe smeri. Efektivni odmik je meja, znotraj katere je 2/3 izmerjenih podatkov. Določa se ga glede na srednjo mejo. Efektivni odmik izračunamo po enačbi (4).

$$\delta = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2}{N}} \quad (4)$$

Absolutna napaka prikaže največji odmik od povprečne vrednosti. Z absolutno napako izrazimo absolutne meje, znotraj katerih je velika verjetnost, da leži vrednost merjene količine. Prikaže negotovo vrednost merjene fizikalne količine. Absolutno napako meritve izračunamo po enačbi (5). Rezultat predstavimo z enačbo (6).

$$\Delta x = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \dots + |x_N - \bar{x}|}{N} \quad (5)$$

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (6)$$

Rezultat predstavimo kot relativno napako meritve (enačba 7).

$$r. n. = \frac{\Delta x}{x \times 100} \quad (7)$$

Z relativno napako povemo natančnost meritve. Relativno napako zaokrožimo na eno številsko mesto. Relativno napako predstavimo z enačbo (8). (Kocijancič, 2003)

$$x = \bar{x} \left(1 + \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right) \quad (8)$$

5.2.9 Računanje z merskimi napakami

Natančnost pri računanju je obremenjena z napakami. Raziskava je obsegala veliko število izračunov, končni cilj pa je bil pridobitev absolutne razlike med lastnostmi klasičnih materialov in lastnostmi nanoimplementiranih materialov. Zato smo uporabili računanja z merskimi napakami. Pri fizikalnih izračunih ne moremo doseči poljubne natančnosti. V končnem rezultatu so le številke, ki bi jih največja možna napaka ne spremenila, če bi jo prišteli rezultatu. Natančnost rezultata presodimo s seštetjem vseh zanesljivih mest. Mesta seštevamo ne glede na decimalno vejico. V rezultatu je zato toliko zanesljivih mest, kolikor jih ima točen podatek. Ta podatek ima najmanj zanesljivih mest. Ob primeru le enega izmerka predpostavimo, da je zadnje številsko mesto natančno za eno do največ tri enote. Zaokrožitve opravimo pri končnem rezultatu. Absolutna napaka vsot ali razlik fizikalnih količin je seštevek vseh absolutnih napak posameznih količin. Relativna napaka produkta več faktorjev je seštevek relativnih napak posameznih faktorjev. Vsota relativnih napak števca in imenovalca je relativna napaka kvocienta. (Kocijancič, 2003)

5.3 Ugotovitve

Raziskava novih materialov izdelanih z uporabo ogljikovih nanocevk in fullerenov je pokazala, da je ideja implementacije nanomaterialov v procese izdelave plovil dobrodošla. Zmožnosti implementacije materialov so realne. Vprašljiva pa je konkurenčnost v primerjavi z drugimi materiali na tržišču. Za proces implementacije in izdelave novega kompozita bi potrebovali daljše raziskave, s katerimi bi lahko omogočili konkurenčno ponudbo novega materiala na svetovnem tržišču. Plovilo Lexmar 6 SC bi lahko izdelali s pomočjo implementacije materiala. Potrebno bi bilo pridobiti natančne podatke zmožnosti novega materiala in s pomočjo teh izpeljati

izračune za vpeljavo v proces izdelave plovila. Dodatno bi predlagali dolgotrajnejšo raziskavo naravnih vplivov in vplivov okolja na nov material.

Tabela 4: Primerjava gostot uporabljenih materialov

material	klasičen	FF+NN	NN	FU
gostota vzorec 1 [kg/m ³]	1425	1303	1416	1476
gostota vzorec 2 [kg/m ³]	1280	1374	1389	1428
gostota vzorec 3 [kg/m ³]	1325	1301	1315	1427
povprečje [kg/m ³]	1343	1326	1373	1443
razlika v % glede na klasičen material		-1,27	+2,24	+7,46

Po končanih meritvah smo zasledili spremembe v lastnostih materiala. V tabeli 4 je prikazana razlika gostot novih materialov v odstotkih (glej tabelo 1). Gostote materiala smo izračunali tako, da smo uporabili tehtnico in označen steklen cilinder (menzuro), napolnjen z vodo. Prva pomembnejša sprememba je razlika v višini kompozitov. Kompozit z ogljikovimi nanocevkami in fulereni ima najnižjo višino, naslednji je kompozit z ogljikovimi nanocevkami, sledi kompozit s fulereni in zadnji, najvišji je kompozit brez primesi. Ugotovili smo, da se material pri rezu s cirkularno žago različno obreže. Vrstni red lomov, ki jih gledamo glede raztrganost materiala (koliko ga je raztrganega), je enak vrstnemu redu materialov pri višini materiala. Vrstni red raztrganosti materiala je od najbolj raztrganega materiala do tistega materiala z najčistejšim rezom (slika 33).

Tabela 5: Udarna žilavost materiala [J/mm²]

material	klasičen	FU+NN	NN	FU
udarna žilavost vzorec 1	0,09	0,11	0,13	0,15
udarna žilavost vzorec 2	0,09	0,10	0,10	0,13
udarna žilavost vzorec 3	0,09	0,12	0,15	0,13
vsota	0,26	0,32	0,38	0,40
povprečje	0,09	0,11	0,13	0,13
razlika v % glede na klasičen material		+23	+44	+53

Vzorci, ki so bili uporabljeni pri pridobivanju podatkov za tablo 5 so prikazani na slikah 33 in 28, vzorci za tabelo 6 pa na slikah 24, 25 in 26.

Tabela 6: Natezna trdnost materiala [N/mm²]

material	klasičen	FU+NN	NN	FU
natezna trdnost vzorec 1	88,3	111,5	85,8	98,1
natezna trdnost vzorec 2	83,2	116,2	83,4	105,0
natezna trdnost vzorec 3	93,9	96,7	102,6	101,2
natezna trdnost vzorec 4	92,0	118,9	109,5	100,6
natezna trdnost vzorec 5	91,7	155,5	126,5	103,8
vsota	448,9	598,7	507,8	508,6
povprečje	89,8	119,7	101,6	101,7
razlika v % glede na klasičen material		+33	+13	+13

Rezultati opravljenih nateznih in udarnih meritev prikazujejo, da imajo vsi vzorci, izdelani z uporabo nanotehnologije, boljše mehanske lastnosti kot vzorci, izdelani iz klasičnega epoksi materiala. Najvišji rezultat na Charpyjevem udarnem kladivu imajo vzorci z dodanimi fulereni, kar je za 53 % več od rezultata klasičnega epoksi materiala (tabela 5). Na nateznem preizkus so se najboljše odzvali vzorci z dodanimi ogljikovimi nanocevkami in fulereni (tabela 6). Rezultat je bil za 33 % višji od rezultata vzorcev, izdelanih iz klasičnega epoksi materiala. Ta novi material bi lahko teoretično uporabili za izgradnjo plovila. Svetovali bi uporabo materiala z dodatkom fulerenov. Zaradi izboljšanih lastnosti predvidevamo, da bi za izgradnjo tako porabili najmanj za četrtno manj epoksi mase. Tako bi plovilo postalo vsaj za 25 % lažje. To bi omogočilo tudi drugačne zakone pri načrtovanju in oblikovanju novih plovil. (Kraut, 2003),

5.3.1 Stroškovna ocena raziskave

Naredili smo približno analizo stroškov raziskave. Cene lahko variirajo glede na vključene posameznike. Cena 1 grama ogljikovih nanocevk je 80 €, cena 1 grama fulerena (C60 MT-60-30 99.95 %) je 40 €, cena porabljene epoksidne smole, katalizatorja in aerosila pa je 150 €. Cena dela s cirkularno žago je približno 20 € za uro dela. Cena meritev pri podjetju SavaTech d.o.o. je ocenjena na minimalno 150 €. Skupna minimalna cena preizkusa bi tako bila vsaj 540 €. V ceno niso vključeni delo posameznika in transportni stroški.

5.3.2 Predlogi dodatnih meritev

Da bi pridobili profesionalne rezultate meritev, bi potrebovali profesionalno merilno opremo. Opravili smo poizvedbo o merilnicah v Sloveniji in ugotovili, da skoraj vsi, ki želijo opraviti profesionalno meritev, izberejo podjetje SavaTech d.o.o. Gospod Metod Ličen, vodja metrologije in laboratorijev v Iskri Avtoelektrika d.d., je potrdil, da tudi to podjetje uporablja že omenjeno merilnico. Omenimo, da tudi vrhunsko podjetje Pipistrel d.o.o. opravlja svoje meritve v tej merilnici. Podjetju SavaTech d.o.o. smo poslali povpraševanje za izdelavo in izvedbo meritev. Približna ponujena cena je bila 15 € za eno meritev. Ob večjem zanimanju za implementiran material bi, glede na vse naštetu, predlagali dodatne meritve v merilnici podjetja SavaTech d.o.o.

6 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo predstavili podjetje Navimar navtika d.o.o. in plovilo Lexmar 6 SC ter potencialne kupce plovila. Prikazali smo proces izdelave plovila Lexmar 6 SC, kakovost procesa izdelave in predlagali možnosti implementacije novih materialov na podlagi nanotehnologij. Da smo pridobili praktična znanja o plovilu, smo sodelovali v procesu izdelave plovila. Prikazali smo nevarnosti uporabljenega materiala. Opisali smo rokovanje z uporabljenimi materiali. Osredotočili smo se na material, ki ga uporabljajo pri izdelavi plovila s pomočjo kalupa. Predstavili smo epoksidno smolo, barve in premaze. Za razumevanje realnih možnosti implementacije smo opisali nanotehnologijo. Predstavili smo ogljikove nanocevke in fulerene. Poskušali smo ugotoviti zmožnosti aplikacij materialov v navtičnem sektorju. Idejo smo poskušali prikazati tako, da smo upoštevali čim več dejavnikov za realno uporabnost novega materiala. Predlagali smo tudi potencialne kupce in potencialne namene uporabnosti novega materiala. Vemo, da se velika ideja brez pridobljenih verodostojnih podatkov, težko vpelje v industrijo, zato smo iskali možnosti prikaza uporabnih podatkov. Poiskali smo merilnico, da smo izpeljali meritve pri preizkusih novega materiala. Izmerili smo udarno žilavost in natezno trdnost. Pridobili smo podatke o napravah za izpeljavo potrebnih meritev. Odločili smo se za idejo izpeljave več meritev. S tem smo pridobili bolj verodostojne podatke o novem materialu. Meritve smo statično analizirali. Predlagali smo možnosti izdelave novega materiala za plovilo z uporabo nanodelcev.

Rezultati raziskave pokažejo, da se vsi materiali, izdelani z uporabo nanodelcev, obnesejo bolje kot klasični epoksi materiali. Kompozit s primesjo fulerenov ima za 50 % višjo udarno žilavost kot klasični epoksi material. Kompozit z dodanimi ogljikovimi nanocevkami ima za 44 % višjo udarno žilavost, kompozit z dodanimi ogljikovimi nanocevkami in fulereni pa za 23 % višjo udarno žilavost. Na nateznem preizkusu se je najbolje obnesel kompozit z dodanimi ogljikovimi nanocevkami in fulereni: dosegel je za 33 % višjo natezno trdnost kot ga je dosegel klasični epoksi material. Kompozit z ogljikovimi nanocevkami in kompozit s fulereni, pa sta dosegla za 13 % višjo natezno trdnost kot ga je dosegel klasični epoksi material. Raztezki merilnega orodja so se gibali med 6 in 9 mm. Vsi preizkušani materiali imajo velik elastični raztezek in se ob odvzemu natezne sile povrnejo v prvotno obliko.

Raziskava je osvetlila realne možnosti uporabe novega materiala v navtični industriji. Na podlagi pridobljenih podatkov predlagamo bolj poglobljeno raziskavo vplivov koncentracij in tipa nanodelcev pri izdelavi materialov za plovilo in bolj natančno ekonomsko analizo. Na osnovi teh raziskav bo možno predvideti realno uporabo nanotehnologije za izdelavo plovil.

7 LITERATURA

Dresselhaus, M. S. ,Dresselhaus, G., Eklund, P. (1996). The science of fullerenes and carbon nanotubes, Academic Press, University of Kentucky

Ebbesen, T. W. (1996). Carbon nanotubes, preparation and properties, CRC Press, New York

Feynman, R. (1959). Na dnu je še veliko prostora, American Physical Society, California Institute of Technology

Foster, L. E. (2010). Nanotechnology: Science, Innovation and Opportunity, Prentice Hall, New Jersey

Gurit UK (2010). Vodič v kompozite, pridobljeno 13.5.2012 s svetovnega spleta: http://www.gurit.com/files/documents/Gurit_Guide_to_Composites%281%29.pdf

Harris, P. J. F. (2009a). Carbon Nanotube Science: Synthesis, properties and applications, Cambridge University Press, New York

Harris, P. J. F. (2009b). Ogljikove nanocevke, pridobljeno 28.4.2012 s svetovnega spleta: <http://www.personal.reading.ac.uk/~scsharip/tubes.htm>

Kocijancič, S. (2003). Napake pri meritvah, pridobljeno 27.5.2012 s svetovnega spleta: http://www2.arnes.si/~sspsfran/enote/nivo1_Unapake.html

Kraut, B. (2003). Krautov strojniški priročnik, Littera Picta D.O.O. Ljubljana

Lister, J. (2011). Industrijska uporaba ogljikovih nanocevk, pridobljeno 27.4.2012 s svetovnega spleta: http://www.ehow.com/info_8711343_manufacturers-use-nanoblock-technology.html

Migone, A. D. (2012). Ogljikovi nanorogovi, pridobljeno 17.5.2012 s svetovnega spleta: http://www.physics.siu.edu/migone/lab/carbon_nanohorns.htm

Plovila Lexmar 6 SC in 6 SCVI (2011). pridobljeno 20.4.2012 s svetovnega spleta: <http://www.lexmar.eu/lexmar.html>

Ratner, M. A., Ratner, D. (2003). The Next Big Idea, Prentice Hall, New Jersey

Summerscales, J. (2010). Laminacijski procesi, pridobljeno 19.5.2012 s svetovnega spleta:

<http://www.tech.plym.ac.uk/sme/mats324/PowerPoint/MATS324C5%20HLUspray.ppt>

Yamaha Motor Corporation (2011). Prva uporaba nanotehnologije v navtiki, pridobljeno 27.5.2012 s svetovnega spleta: <http://www.prnewswire.com/news-releases/yamaha-introduces-worlds-first-boat-hulls-engineered-using-nanotechnology-58304342.html>