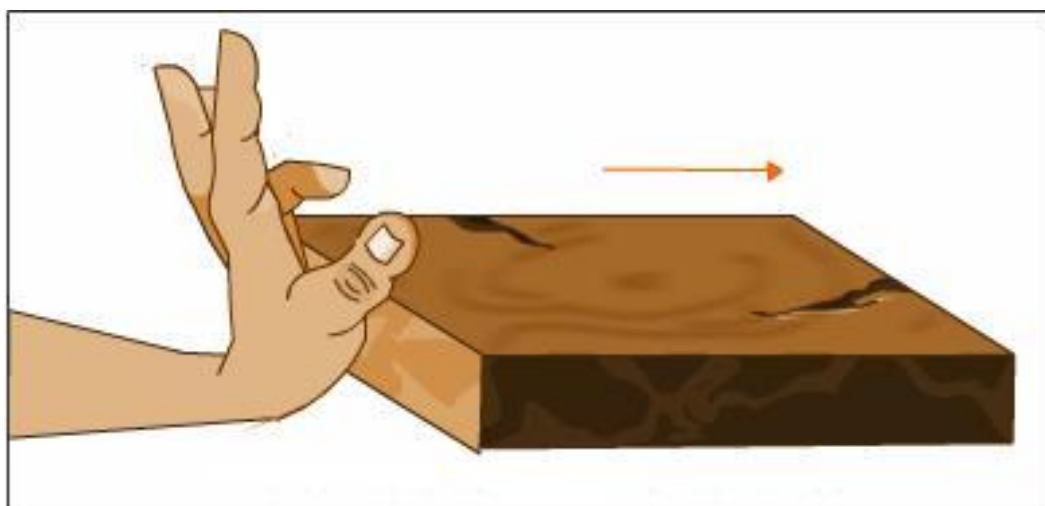


Mladi za Celje
RAZISKOVALNA NALOGA

MERJENJE SILE LEPENJA



Šifra: **LEPENJE**

Področje: **FIZIKA**

Celje, 2012

KAZALO

KAZALO	2
KAZALO SLIK	3
POVZETEK	4
1. UVOD	5
1.1 Teoretske osnove	5
1.1.1 Sila lepenja in sila trenja	5
1.1.2 Primeri koristnega in škodljivega trenja v vsakdanjem življenju	7
1.1.3 Tabela koeficientov lepenja za različne snovi	9
1.1.4 Zaviranje vozil na cestišču	10
1.1.5 Povprečna vrednost merjenja	12
1.2 Opis raziskovalnega problema	13
1.3. Hipoteze	13
1.4. Raziskovalne metode	14
2. OSREDNJI DEL	15
2.1. Fizikalni opis poskusa	15
2.2.1 Merjenje sile lepenja v odvisnosti od teže telesa	19
2.2.2 Merjenje sile lepenja v odvisnosti od ploščine stične ploskve	21
2.3. Merjenje sile lepenja na druga dva načina	22
2.3.1 Merjenje sile lepenja s pomočjo spreminjanja nagiba klanca	22
2.3.2 Merjenje sile lepenja s pomočjo uteži na vrvici preko škripca	22
2.4. Lepenje na »vlažni« podlagi	23
3. ZAKLJUČEK	24
4. VIRI in LITERATURA	26

KAZALO SLIK

<i>Slika 1</i>	<i>Gladka površina gledana pod mikroskopom</i>	<i>5</i>
<i>Slika 2</i>	<i>Povečana risba stika dveh teles z »gladko« površino</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3</i>	<i>Graf spreminjanja zaviralnih sil v odvisnosti od časa</i>	<i>7</i>
<i>Slika 4</i>	<i>Sila lepenja med čevljem in skalo pri planincu</i>	<i>8</i>
<i>Slika 5</i>	<i>Groba hrapavost vozne površine</i>	<i>10</i>
<i>Slika 6</i>	<i>Značilnosti fine in grobe hrapavosti na vozni površini</i>	<i>11</i>
<i>Slika 7</i>	<i>Merjenje sile lepenja pri vleki kvadra s silomerom</i>	<i>15</i>
<i>Slika 8</i>	<i>Merjenje sile lepenja s pomočjo nagiba klanca</i>	<i>16</i>
<i>Slika 9</i>	<i>Trikotnik sil in trikotnik, ki ga tvori klanec, sta podobna trikotnika</i>	<i>17</i>
<i>Slika 10</i>	<i>Merjenje sile lepenja pri vleki kvadra z utežmi preko škripca</i>	<i>18</i>
<i>Slika 11</i>	<i>Sile v vodoravni smeri pri vleki kvadra z utežmi preko škripca</i>	<i>18</i>
<i>Slika 12</i>	<i>Priprava za merjenje sile lepenja na »mokri« podlagi</i>	<i>23</i>

POVZETEK

Sili lepenja in trenja sta ploskovno porazdeljeni sili, ki delujeta ob stiku dveh teles: o sili lepenja govorimo pri mirovanju telesa, o sili trenja pa med gibanjem telesa. Obe sili sta zaviralni in nastaneta zaradi »nabrazdane« površine stičnih ploskev telesa, ki ga vlečemo po podlagi in podlage.

V okviru raziskovalne naloge smo s poskusi preverili odvisnost sile lepenja od teže telesa, vrste snovi iz katere sta telo in podlaga ter velikosti stične ploskve med telesom in podlago. S pomočjo izmerjenih podatkov smo izračunali koeficiente lepenja za različne vrste snovi in jih primerjali s tistimi, ki smo jih našli v literaturi.

Pri izvajanju meritev in analizi dobljenih rezultatov smo ugotovili, da je natančno merjenje sile lepenja zahtevna naloga. Lepenje je pojav, na katerega razen teže telesa in vrste snovi vpliva še veliko drugih dejavnikov, kot so kvaliteta obdelave dotikajočih se ploskev, čistoča snovi in tudi, kaj se je predhodno dogajalo s telesom oziroma podlago.

Posebej nas je zanimal vpliv vlažnosti na silo lepenja, saj smo želeli preveriti splošno znano opozorilo voznikom, da je na vlažnem cestišču pri zaviranju potrebno upoštevati daljšo zavorno pot vozila. Domneva se je izkazala za povsem pravilno. Dobljeni rezultat pa nas je nekoliko presenetil, saj so naše meritve pokazale, da se je sila lepenja zaradi prisotnosti vlage zmanjšala celo za več kot 30 %.

V nalogi smo predstavili in preizkusili tri različne načine merjenja sile lepenja. Ugotovili smo, da je najenostavnejši in hkrati najbolj natančen način merjenja sile lepenja s pomočjo spreminjanja nagiba klanca.

1. UVOD

1.1 TEORETIČNE OSNOVE

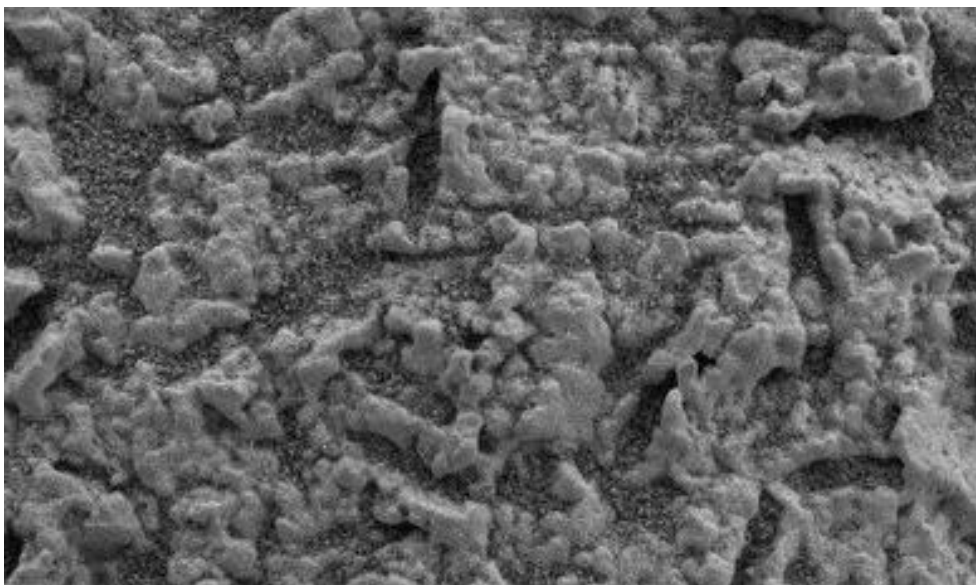
1.1.1 SILA LEPENJA in SILA TRENJA

V vsakdanjem življenju opazimo delovanje nekaterih sil, ki se jih v mnogih primerih niti ne zavedamo. Primera takšnih sil sta tudi sili lepenja in trenja. Gre za ploskovno porazdeljeni sili, ki delujeta ob stiku dveh teles: o sili lepenja govorimo pri mirovanju telesa, o sili trenja pa med gibanjem telesa.

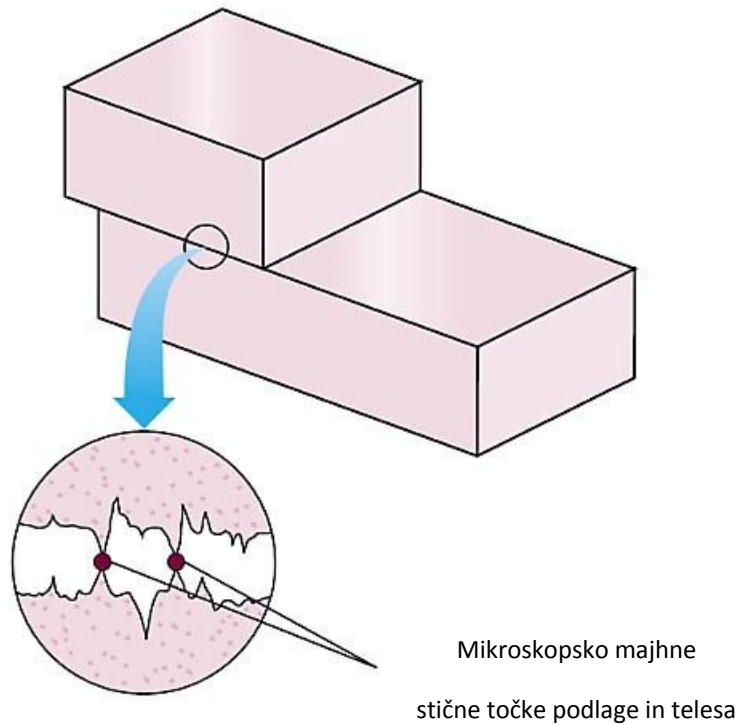
Silo lepenja lahko opazimo, ko želimo potisniti zaboj, ki leži na tleh v vodoravni smeri, a se ta ne premakne. Podoben pojav opazimo, ko poskušamo potegniti obtežene sani, a nam to ne uspe.

Silo trenja opazimo, ko se spustimo po vodnem toboganu navzdol in se, če nimamo dovolj velike hitrosti ali, če je podlaga presuha, po določenem času ustavimo. Opazimo jo tudi, ko zaviramo pri vožnji s kolesom in pride do trenja med gumo in asfaltno površino.

Obe sili sta zaviralni in nastaneta zaradi »nabrazdane« površine stičnih ploskev telesa, ki ga vlečemo po podlagi in podlage. Tudi če sta ploskvi, ki se pri drsenju dotikata, še tako gladki, sta pod mikroskopom videti hrapavi. Izbokline ene ploskve se zatikajo ob izbokline druge ploskve. V vsakdanjem življenju teh dveh sil pogosto niti ne opazimo.



Slika 1: Gladka površina gledana pod mikroskopom



Slika 2: Povečana risba stika dveh teles z »gladko« površino

»Sila trenja F_t je komponenta sile podlage v nasprotni smeri gibanja na telo, ki drsi s stalno hitrostjo po ravni podlagi. Sila trenja (F_{tr}) je sorazmerna s težo telesa (F_g) in zato je smiselno vpeljati koeficient trenja:

$$k_t = \frac{F_{tr}}{F_g}.$$

Podlaga lahko deluje na telo z vzdolžno komponento tudi, ko telo miruje: to je sila lepenja. Ta sila ima zgornjo mejo, ki jo imenujemo največja sila lepenja (F_l). Koeficient lepenja:

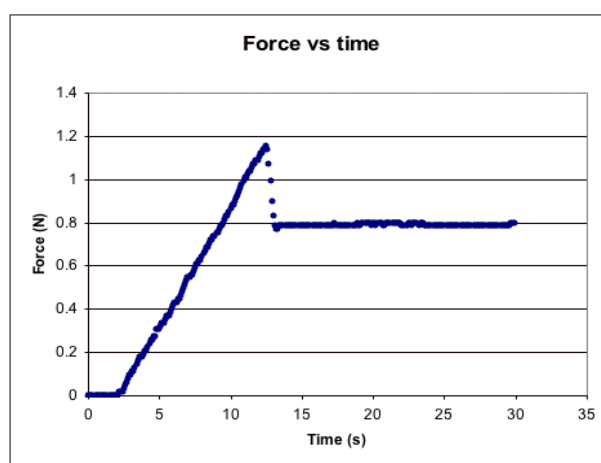
$$k_l = \frac{F_{tr}}{F_g},$$

Koeficient lepenja je praviloma večji od koeficienta trenja, je pravzaprav koeficient trenja pri hitrosti 0.

Koeficienta trenja in lepenja sta odvisna od snovi, iz katerih sta podlaga in telo, od *obdelave dotikajočih se ploskev, od njune čistoče in od tega, kaj se je z njima prej dogajalo*. Močno ju zmanjšamo, če med telo in podlago damo kapljevino.

Merjenja sile trenja in lepenja so razmeroma nenatančna, zato navadno zapišemo koeficienta samo z enim mestom ali kvečjemu dvema.

Lepenje in trenje pojasnimo s tem, da dotikajoči se ploskvi nista popolnoma gladki in drobne vzpetine segajo v vdolbine telesa. Ko telo drsi po podlagi ali ga silimo, da se premakne, spreminjajo drobne vzpetine obliko in nekatere se strgajo. Pri tem se majhna območja telesa in podlage segrejejo do precej visoke temperature.«¹



Slika 3: Graf spreminjanja zaviralnih sil v odvisnosti od časa

(Vir: <http://www.cceo.tufts.edu/robochatceeo>)

1.1.2 Primeri koristnega in škodljivega trenja v vsakdanjem življenju

Sila trenja je na mnogih področjih zelo moteča, brez nje pa bi si življenje težko predstavljali. Zelo nazorno si lahko za zgled vzamemo kolo – če obroč na kolesu zavrtimo, bi si želeli, da se ne bi nikoli ustavilo. Ko s kolesom zaviramo, se naše želje hitro spremenijo. Ob stisku ročice za zavoro želimo veliko trenje med zavorno oblogo in platiščem ali diskom, hkrati pa tudi, da plašč na podlagi ne zdrsne. Brez sile trenja bi težko pisali, saj bi nam pisalo drselo po podlagi. Veliko težav bi imeli tudi s prijemanjem predmetov, ki bi nam polzeli iz rok ali pa pri hoji po tleh, kjer bi brez pomoči sile trenja neprestano padali po tleh.

*1: Janez Strnad: Zakaj se lahko drsamo in smučamo?, Presek, letnik 18, številka 4, stran 195, 196

Smučarji zagotovo želijo čim manjše trenje, da bi smučka kar najhitreje stekla. Pri prevoznih sredstvih želimo čim manjše trenje v motorju med gibajočimi se deli (drgnjenje batnih obročkov ob stene valja ...), da bi motor tekel kot "namazan". Prav tako želimo čim manjše trenje pri vrtenju nekaterih delov – kolesa, na primer, se morajo čim lažje vrteti okrog osi.

Najenostavnejši način za zmanjšanje trenja je mazanje z najrazličnejšimi mazivi, kot sta olje in vezelin. Za zmanjšanje trenja pri vrtenju uporabljamo ležaje. Poznamo več vrst ležajev. V osnovi ločimo drsne in kotalne ležaje. Pri drsnih je ležaj sestavljen iz najmanj dveh obročkov z nizkim trenjem. Pri kotalnih ležajih so pogosto med dva obročka vstavljene kroglice ali valjčki, ki se med njima kotalijo.



Slika 4: Sila lepenja med čevljem in skalo pri planincu

In kako lahko trenje povečamo?

Na avtomobilih pozimi uporabljamo zimske gume, ki so primernejše za vožnjo po zasneženem in ledenem cestišču (globji profil zimskih gum) ali pa površino podlage naredimo bolj hrapavo s pomočjo soli ali peska.

V vsakdanjem življenju si naprimer pri odpiranju spolzkega pokrova na steklenci s kompotom pomagamo tako, da obrišemo roke in steklenico ali pa to naredimo s pomočjo suhe krpe, ki poveča trenje.

1.1.3 KOEFICIENTI LEPENJA

V literaturi smo poiskali izmerjene vrednosti koeficientov lepenja za različne snovi iz katerih sta telo in podlaga – pri čisti in suhi površini ter pri nečisti in mokri površini.

SNOV (telo)	SNOV (podlaga)	Koeficient lepenja	
		Čisti in suhi površini	Mokri in umazani površini
Steklo	Kovina	0.5-0.7	0.2-0.3
Led	Les	0.05	/
Led	Guma	0.15	/
Magnezij	Magnezij	0.6	0.08
Usnje	Les	0.3-0.4	/
Steklo	Nikelj	0.78	0.56
Guma	Karton	0.5-0.8	/
Opeka	Les	0.6	/
Guma	Les	0.45	0.30
Kadmij	Krom	0.41	0.34
Usnje	Kovina	0.4	0.2
Baker	Baker	1	0.08
Les	Les	0.15-0.50	/
Aluminij	Aluminij	0.1	0.3
Steklo	Jeklo	0.1	0.1
Medenina	Lito železo	0.3	/
Medenina	Jeklo	0.35	0.19
Diamant	Kovina	0.1-0.15	0.1

Tabela 1: Tabela koeficientov za različne snovi

(Vir: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html, 24. 2. 2012)

Z rdečo barvo so označeni koeficienti, ki smo jih preverili v praktičnem delu naše naloge.

1.1.4 ZAVIRANJE VOZIL NA CESTIŠČU

»Torna sposobnost vozne površine pomeni vpliv kakovosti kamnitih zrn na vozni površini in drobne geometrijske oblikovanosti (hrapavosti) vozne površine na velikost pogonskih zavornih in stranskih sil, ki se lahko prenašajo s pnevmatik na kolesih vozil na vozno površino. Zato torna sposobnost vozne površine odločilno vpliva na oprijemljivost, to je sposobnost prenosa navedenih sil z naležne površine pnevmatike na vozno površino in s tem na varnost vožnje.

Za varno vožnjo pa je poleg torne sposobnosti vozne površine treba upoštevati tudi

- značilnosti gibanja: hitrost vožnje, zdrs in drsenje,
- značilnosti pnevmatike: vrsto, notranji pritisk, prerez, oblikovanost in stanje profila ter lastnosti gume,
- razporeditev napetosti na dotikalnih površinah pnevmatik z elementi hrapavosti vozne površine ter
- značilnosti medija med pnevmatiko in vozno površino: voda, sneg, led, prah in olje.

Geometrijska oblikovanost ali hrapavost vozne površine je opredeljena z:

- ostrino vozne površine – fino hrapavostjo in
- drenažno sposobnostjo vozne površine – grobo hrapavostjo.



Slika 5: Groba hrapavost vozne površine

Osnovna značilnost kamnitih zrn, potrebna za čim bolj trajno fino hrapavost vozne površine, je zgradba kamnine iz mineralov, ki so različno odporni proti obrabi in tako tudi proti zgladitvi površine.

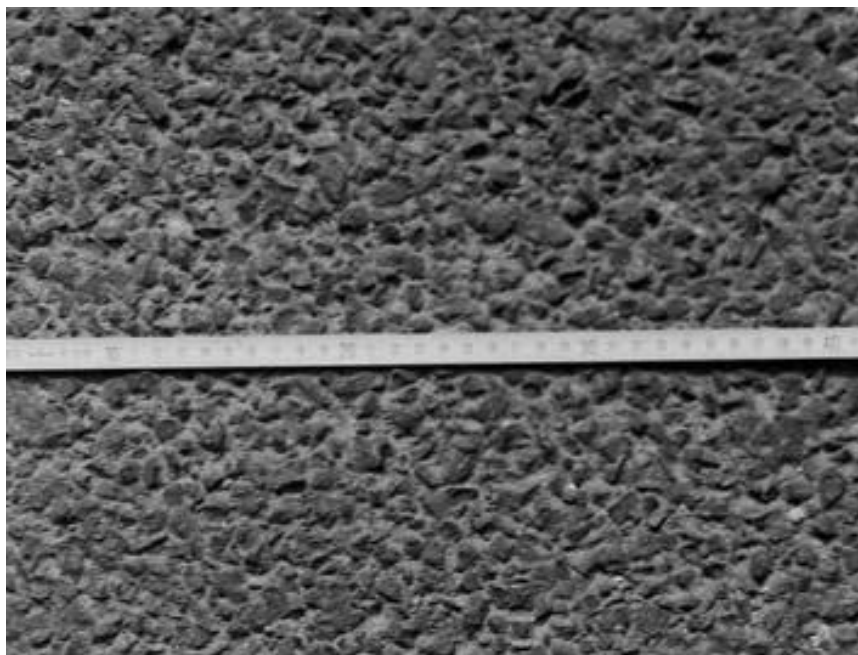
V pretežni meri je takšna zgradba silikatnih kamnin eruptivnega porekla, ki določa ostrino površine zrn. Ostrino vozne površine pa poleg ostrine površine zrn določa tudi ostrina robov in konic zrn, ki je prav tako odvisna od mineraloške zgradbe kamenine.

Ker je doprinos ostrine robov in konic kamnitih zrn k torni sposobnosti vozne površine večji od doprinosa ostrine površine kamnitih zrn, je predvsem za ceste, kjer so hitrosti vožnje manjše, primerno, da je v bituminizirani zmesi, vgrajeni v obrabno plast, čim več drobnih kamnitih zrn.

Grobo hrapavost vozne površine (slika 5) je treba ustvariti z:

- sistemom med zrn in/ali
- vtisnjenim drenažnim sistemom.

V območju naleganja pnevmatike na vozno površino sta pogojeni groba in fina hrapavost:



Slika 6: Značilnosti fine (mikro) in grobe(makro) hrapavosti na vozni površini

- v območju približevanja pnevmatike vozni površini mora drenažna sposobnost omogočiti izrinjenje vodnega klina,
- v območju stika pnevmatike z vozno površino pa ostrina vozne površine predrtje vodnega filma in trenje na suhem stiku.

V primeru, da vozna površina ni ustrezno hrapava, med pnevmatiko in vozno površino ostane vmesna plast ali vsaj film vode, ki prepreči za varno vožnjo potreben stik za prenos sil s pnevmatike na vozno površino; nastane »hidroplaning«.

Če je na vozni površini zagotovljena samo fina hrapavost, ne pa tudi groba hrapavost, je torna sposobnost pri majhni hitrosti vožnje lahko zadovoljiva, ne pa tudi pri večji hitrosti vožnje. Samo groba hrapavost, ki je pomembna predvsem pri večji hitrosti vožnje, pa sama tudi ne zadostuje za zagotovitev pogojev za varno vožnjo.«²

1.1.5 POVPREČNA VREDNOST MERJENJA

Nobena meritev ni povsem natančna, ker pri merjenju nastanejo napake iz različnih vzrokov. Napake ločimo na sistematične in slučajne.

Sistematične napake so prisotne zaradi netočnosti merilnikov ali zaradi napake v merilni metodi, ko ne upošteva elementov, ki pomembno vplivajo na merjenje.

Značilni primeri, zaradi katerih nastajajo sistematične napake, so:

- netočno umerjeni merilni instrumenti,
- nepravilna lega instrumenta,
- sprememba lastnosti merilnikov zaradi staranja ali mehanskih poškodb in
- neupoštevanje vpliva temperature, vlažnosti zraka, zračnega tlaka, električnega polja.

Slučajne napake nastanejo zaradi subjektivnih razlogov in so odvisne od opazovalca.

Značilni primeri slučajnih napak so:

- netočnost pri merjenju časa,
- kot gledanja na skalo instrumenta je pri meritvah različen,
- nezadostna ostrina vida opazovalca pri merjenju,
- površno opazovanje in merjenje.

Zaradi napak pri merjenju opravimo več meritev in za pravo vrednost vzamemo tisto, ki jo dobimo s povprečno vrednostjo, upoštevajoč natančnost meritve.

Povprečno vrednost fizikalne količine x označimo z \bar{x} in jo izračunamo kot aritmetično sredino posameznih izmerjenih vrednosti količine x :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}.$$

²http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/Knjiga_Asfalt_ZAS.pdf, 20. 2. 2012

1.2 OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA

Pri pouku fizike v 8. razredu se učenci v poglavju SILE informativno seznanijo tudi s silo trenja, eno od sil, ki je v vsakdanjem življenju zelo prisotna. V povezavi s trenjem smo obravnavali tudi silo lepenja. Obe sili smo želeli izmeriti in preveriti njuno odvisnost od nekaterih fizikalnih količin. Zanimal nas je vpliv vlage na silo trenja, še posebej v povezavi z znanim dejstvom, da na mokrem cestišču zaviranje ni tako učinkovito. Preizkusili smo tri različne načine merjenja sile lepenja in v vseh primerih izračunali ustrezne koeficiente.

1.3 HIPOTEZE

Pred pričetkom dela smo si zastavili pet hipotez, za katere smo domnevali, da jih bomo v okviru raziskovalne naloge lahko potrdili ali ovrgli:

1. Sila lepenja je odvisna od teže telesa.
2. Sila lepenja je odvisna od vrste snovi, ki jo imata stični ploskvi telesa in podlage.
3. Sila lepenja ni odvisna od ploščine stične ploskve telesa s podlago.
4. Mokra površina telesa oziroma podlage zmanjša silo lepenja.
5. Silo lepenja lahko izmerimo na več različnih načinov, dobljeni rezultati pa niso odvisni od načina merjenja.

1.4 IZBOR IN OPIS RAZISKOVALNIH METOD

V okviru naloge smo najprej izdelali načrt poteka raziskave. Osrednji del naše naloge so praktične meritve, zato smo razmislili o mogočih načinih merjenja sil lepenja in trenja. S pomočjo literature in mentorja smo ugotovili, da obstajajo vsaj trije različni načini merjenja:

- a) Merjenje lepenja s pomočjo silomera, kjer vlečemo telo po vodoravni podlagi.
- b) Merjenje lepenja s spreminjanjem nagiba klanca na katerem leži telo.
- c) Merjenje lepenja s pomočjo uteži, ki visijo na vrvi preko škripca.

Vsi trije načini merjenja so se nam zdeli zanimivi, seveda pa nismo vnaprej vedeli, katerega bi izbrali kot najboljšega. Pravzaprav se nam je zdelo dobro, da bi nekatere meritve opravili na vse tri načine in ugotovili ali je rezultat morda odvisen tudi od načina izvedbe meritve. To se nam je seveda zdelo malo verjetno.

Napisali smo si seznam potrebščin za vse tri načine merjenja. Gre za enostavni pribor, ki smo ga našli v kabinetu za fiziko. Posebej za raziskovalno nalogo smo izdelali le klanec, kjer lahko poljubno spreminjamo nagib.

Razmislili smo tudi o izboru materialov, saj nas je med drugim zanimalo, kako velika je sila lepenja (trenja) v odvisnosti od snovi iz katere je podlaga in od snovi iz katere je telo. Možnosti je zelo veliko in pri izboru smo se morali omejiti.

Pred začetkom izvajanja poskusov smo s pomočjo literature in znanja iz pouka fizike preučili snov iz poglavja SILE in poiskali ustrezne formule ter zakonitosti, ki veljajo za lepenje in trenje. Posebej nas je zanimala sila lepenja v primeru vlažne površine oziroma kolikšen je vpliv vlage na zaviranje v prometu. Teoretično snov o tem smo poiskali na internetu.

Po izdelanem načrtu dela in preučeni literaturi smo se lotili osrednjega dela naše naloge, izvedbe meritev. Vsako meritev smo večkrat ponovili (5-krat) in izračunali povprečno vrednost merjenja. Podatke smo sproti zapisovali v tabelo.

Po opravljenih meritvah je sledilo izračunavanje fizikalnih količin in preverjanje hipotez.

V okviru naloge smo naredili tudi več fotografij, ki prikazujejo potek meritev.

V zadnjem delu smo s pomočjo računalnika oblikovali zapis in s tem uspešno zaključili naše delo.

2. OSREDNJI DEL RAZISKOVALNE NALOGE

2.1. FIZIKALNI OPIS POSKUSA

V okviru raziskovalne naloge smo merili koeficient lepenja na tri različne načine, saj nas je med drugim zanimalo tudi ali se dobljeni rezultati razlikujejo glede na način merjenja.

a) Merjenje sile lepenja na vodoravni podlagi s pomočjo silomera

Telo postavimo na vodoravno podlago in s pomočjo silomera izmerimo najmanjšo silo, ki je potrebna, da se telo premakne z mesta. Najmanjša sila, pri kateri se to zgodi, je sila lepenja.



Slika 7: Merjenje sile lepenja pri vleki kvadra s silomerom

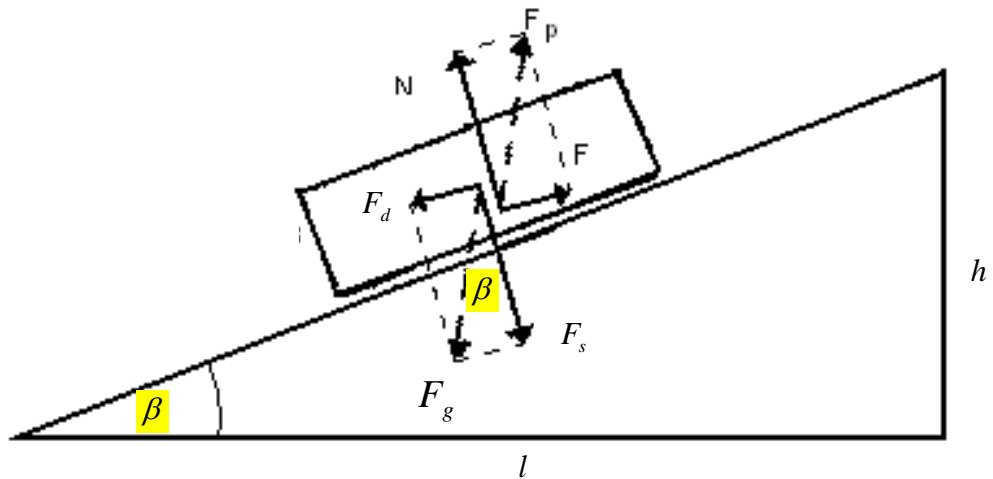
b) Merjenje sile lepenja s spreminjanjem nagiba podlage (klanec)

Telo postavimo na klanec in klanecu postopoma povečujemo nagib, dokler telo ne zdrsne po njem. Dokler telo miruje, sklepamo, da sila lepenja uravnoveša dinamično komponento sile teže telesa. Kot, pri katerem se to zgodi, izmerimo s kotomerom, ali pa si pomagamo z ravnilom, s katerim izmerimo vodoravno in navpično razdaljo pri nagibu deske.



Slika 8: Merjenje sile lepenja pri spuščanju kvadra s pomočjo nagiba klanca

S pomočjo podobnih trikotnikov lahko določimo velikost koeficienta trenja, ki je po definiciji razmerje med silo lepenja in silo teže telesa. To razmerje pa je povsem enako razmerju med višino in dolžino klanca, ki ju izmerimo pri določenem kotu (glej sliko 9).



Slika 9: Trikotnik sil in trikotnik, ki ga tvori klanec, sta podobna trikotnika

S pomočjo obeh podobnih trikotnikov lahko zapišemo enakost:

$$F_l : F_g = h : l$$

$$F_l \cdot l = F_g \cdot h$$

$$F_l = \frac{F_g \cdot h}{l}$$

Iz dobljenega rezultata za silo lepenja hitro opazimo, da je koeficient lepenja na klanecu določen s količnikom med višino in dolžino klanca:

$$k_l = \frac{h}{l}.$$

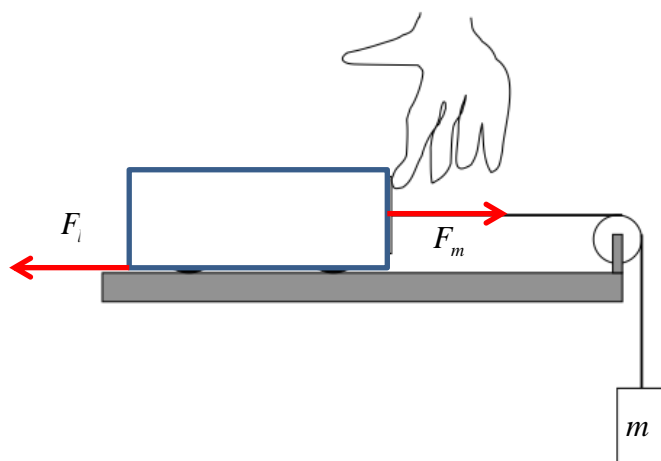
Zapisana ugotovitev omogoča zelo praktično merjenje lepenja s pomočjo s pomočjo spreminjanja nagiba klanca, saj ne potrebujemo nobenih posebnih merilnih naprav, ampak zgolj navaden merilni trak za merjenje dolžine in višine klanca.

c) Merjenje sile lepenja na vodoravni podlagi s škripecem in utežjo

Telo postavimo na vodoravno podlago, nanj privežemo vrstico, jo napeljemo čez škripec na robu podlage, na njen prosti konec pa obešamo vedno več uteži (slika 10). V trenutku, ko telo zdrsne, je sila teže vseh uteži ravno enaka maksimalni sili lepenja. Od tod lahko izračunamo koeficient lepenja med podlago in telesom.



Slika 10: Merjenje sile lepenja pri vleki kvadra z utežmi preko škripca



Slika 11: Sile v vodoravni smeri pri vleki kvadra z utežmi preko škripca

2.2 PREDSTAVITEV REZULTATOV MERITEV IN RAZPRAVA

2.2.1 Merjenje sile lepenja pri treh različnih težah predmeta in različnih snoveh

F_g (N)	S (cm ²)	PODLAGA											
		les - les			les – smirk. p.			guma - led			guma – les		
		F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l
5	160	0,85	0,88	0,18	2,75	2,64	0,53	1,40	1,46	0,29	2,00	2,18	0,44
		0,95			2,50			1,60			2,00		
		0,90			2,75			1,35			2,30		
		0,80			2,75			1,45			2,40		
		0,90			2,50			1,50			2,20		
10	160	1,50	1,65	0,17	5,00	5,45	0,55	3,75	2,80	0,28	4,20	4,20	0,42
		1,50			5,75			3,00			4,20		
		1,75			5,50			3,00			4,40		
		1,75			5,25			2,50			4,20		
		1,75			5,75			2,75			4,00		
15	160	2,50	2,60	0,17	8,00	7,60	0,51	4,20	4,22	0,28	6,00	6,17	0,41
		2,50			8,25			4,40			6,30		
		2,75			7,50			4,30			6,10		
		2,50			7,00			4,00			6,30		
		2,75			7,25			4,20			6,15		

Tabela 2: Rezultati meritev in izračuni koeficienta lepenja za različne teže telesa

Ugotovitve:

V prvem delu smo poskuse izvajali tako, da smo za štiri različne vrste snovi merili najmanjšo vlečno silo v vodoravni smeri, da se je telo premaknilo. Pri tem smo spreminjali težo telesa z dodajanjem uteži (5 N, 10 N in 15 N), površine stične ploskve pa v tem delu nismo spreminjali (160 cm²). Po opravljenih meritvah smo se lotili izračunavanja potrebnih fizikalnih količin: izračunali smo povprečno silo lepenja in nato še ustrezní koeficient lepenja.

Primer (les-les):

S pomočjo petih meritev minimalne vlečne sile izračunamo povprečno vrednost:

$$\bar{F}_l = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}{5}$$

$$\bar{F}_l = \frac{0,85N + 0,95N + 0,90N + 0,80N + 0,90N}{5}$$

$$\bar{F}_l = 0,88 \text{ N}$$

Koeficient lepenja je definiran kot količnik med najmanjšo vlečno silo in težo telesa:

$$k_l = \frac{\bar{F}_l}{F_g}$$

$$k_l = \frac{0,88 \text{ N}}{5 \text{ N}}$$

$$k_l = 0,18$$

Meritve in izračun pokažeta, da je koeficient lepenja v primeru, ko leseno telo vlečemo po leseni podlagi, 0.18. Izračunani koeficient smo primerjali s koeficientom, ki smo ga našli v strokovni literaturi. Tam (Tabela 1, stran 10), smo za omenjeni primer našli koeficient v razponu od 0.15 do 0.50. Razpon je razumljiv, saj obstaja več vrst lesa, ki se ločijo po strukturi površine, na rezultat pa gotovo vpliva tudi »gladkost« stične površine lesenega telesa s podlago. V našem primeru sta bila tako telo kot podlaga razmeroma zelo gladka in koeficient 0.18, ki se nahaja v spodnjem delu razpona od 0,15 do 0.50, se nam je zdel za naš primer zelo verjeten.

Pri gumi in lesu smo dobili praktično enak rezultat oziroma popolno ujemanje koeficienta lepenja, pri ledu in lesu pa je prišlo do delnega odstopanja, ki ga lahko pojasnimo z nizko temperaturo leda pri našem poskusu. Trenje med lesom in ledom je namreč bistveno manjše, če se na ledu ustvari plast vode, kar se zgodi, ko se ledena ploskev na površini delno stali. Naš poskus smo izvajali na »suhi« ledeni površini, zato je dobljeni rezultat razumljiv.

2.2.2 Merjenje sile lepenja pri treh različnih stičnih ploskvah in različnih snoveh

F_g (N)	S (cm ²)	PODLAGA											
		les - les			les – smirk. p.			guma - led			guma - les		
		F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l	F_l (N)	\bar{F}_l (N)	k_l
5	40	0,80	0,84	0,17	3,00	2,75	0,55	1,40	1,35	0,27	2,00	2,18	0,44
		0,80			2,50			1,50			2,00		
		0,90			2,75			1,35			2,30		
		0,80			2,75			1,45			2,40		
		0,90			2,75			1,50			2,20		
5	64	0,80	0,80	0,16	3,00	2,80	0,56	1,40	1,39	0,28	2,10	2,10	0,42
		0,80			2,75			1,50			2,00		
		0,80			3,00			1,30			2,00		
		0,75			2,75			1,35			2,20		
		0,90			2,50			1,40			2,20		
5	160	0,85	0,88	0,18	2,75	2,64	0,53	1,40	1,46	0,29	2,00	2,18	0,44
		0,95			2,50			1,60			2,00		
		0,90			2,75			1,35			2,00		
		0,80			2,75			1,45			2,00		
		0,90			2,50			1,50			2,00		

Tabela 3: Rezultati meritev sile lepenja in koeficienta lepenja za različne površine

Ugotovitve:

Tudi v drugem delu smo poskuse izvajali tako, da smo za štiri različne vrste snovi merili najmanjšo vlečno silo v vodoravni smeri, da se je telo premaknilo. Tokrat smo spreminjali površino stične ploskve (40cm², 64cm² in 160 cm²), teža telesa pa je bila v tem primeru ves čas enaka (5 N). Seveda je bilo v tem delu potrebnih manj meritev, ker smo jih delno opravili že v prvem delu: meritve s kvadrom s težo 5 N, ki ga vlečemo po največji ploskvi s površino 160 cm². Ta del že izmerjenih podatkov smo prenesli iz Tabele 1 v Tabela 2.

Po opravljenih meritvah smo se lotili izračunavanja potrebnih fizikalnih količin, po istem načinu kot v prvem delu. Dobljeni rezultati kažejo, da velikost stične ploskve ne vpliva na velikost sile lepenja oziroma na koeficient lepenja.

2.3 MERJENJE SILE LEPENJA NA DRUGE NAČINE

2.3.1 Merjenje sile lepenja s pomočjo spreminjanja nagiba klanca

Zanimalo nas je, ali se dobljeni rezultati za koeficiente lepenja, ki smo jih dobili v prvem delu naloge s pomočjo merjenja vlečne sile s silomerom, ujemajo s tistimi, ki jih dobimo s pomočjo spreminjanja nagiba klanca. Sestavili smo klanec, kjer je mogoče spreminjati njegov nagib in odčitati naklonski kot. S pomočjo naklonskega kota smo prišli do višine in dolžine klanca, saj le-ta tvori pravokotni trikotnik. Izbrali smo tri različne primere, vlečno silo pa smo merili še enkrat, saj je bila lesena podlaga klanca drugačna od tiste v prvem delu poskusa.

Telo – podlaga	Koeficient lepenja	Naklonski kot klanca	Višina klanca	Dolžina klanca	Koeficient lepenja
les – les	0,22	12°	10 cm	49 cm	0,20
les - guma	0,42	25°	21 cm	45 cm	0,46
les – smirk. papir	0,52	30°	25 cm	43 cm	0,58

Rezultati pokažejo dobro ujemanje rezultatov dobljenih z uporabo klanca s tistimi, ki smo jih dobili s pomočjo silomera. Rezultati pri obeh načinih se nahajajo v okviru mogoče natančnosti, ki pa zaradi načina merjenja in narave sile lepenja ni velika.

2.3.2 Merjenje sile lepenja s pomočjo dodajanja uteži na vrvico preko škripca

Za tretji možni način merjenja sile lepenja smo potrebovali vrvico, škripec in uteži. Izvedba poskusa je sicer zelo enostavna, nekoliko zamudno pa je bilo postopno dodajanje uteži, saj smo morali čim bolj natančno ugotoviti pri kateri masi uteži se klada na mizi premakne. Tudi v tem primeru smo zaradi primerjave meritve izvedli v treh primerih, kjer smo rezultate poznali že iz predhodnih meritev.

Telo – podlaga	Koeficient lepenja	Masa uteži (g)	Koeficient lepenja izračunan s pomočjo mase uteži
les – les	0,18	100 g	0,20
les – smirk. papir	0,53	250 g	0,50
les - guma	0,42	200 g	0,40

Rezultati kažejo, da se koeficienti lepenja v vseh treh primerih zelo dobro ujemajo s tistimi, ki smo jih dobili s pomočjo uporabe silomera: odstopanja so v razponu do 10 %.

2.4 TRENJE V PROMETU – VPLIV MOKREGA VOZIŠČA

V naši raziskovalni nalogi smo želeli preveriti tudi, ali je na mestu opozorilo, po katerem je nevarno zaviranje na vlažni oziroma mokri podlagi. Zavedali smo se, da bo takšen poskus v šoli težko izvedljiv, saj je rezultat merjenja zelo odvisen od stopnje »vlažnosti« vozišča oziroma od snovi s katero delamo poskus.

Odločili smo se, da naredimo dva poskusa z različnima materialoma:

- a) sila lepenja na mokri podlagi iz lesa, če je telo iz gume in
- b) sila lepenja na mokri podlagi iz smirkovega papirja, če je telo iz gume.

Kombinacijo les-guma smo izbrali zaradi začetne predstave o vplivu vlage na lepenje in ker je vsa voda skoraj v celoti ostala na podlagi. Drugo kombinacijo, smirkov papir-guma pa smo izbrali, ker je ta material hrapav in po tej karakteristiki spominja na asfaltno površino – s pomembno razliko, da čez nekaj časa smirkov papir vodo vpije.

S pomočjo meritev smo dobili naslednje rezultate:

Vrsta novi (podlaga in telo)	Koeficient lepenja na suhi podlagi	Koeficient lepenja na mokri podlagi	% zmanjšanja lepenja
les – guma	0,48	0,30	37,5 %
smirkov papir - guma	0,60	0,40	33,3 %



Slika 12: Priprava za merjenje sile lepenja na »mokri« podlagi

3. ZAKLJUČEK

Naša raziskovalna naloga je bila po vsebini nadgradnja učne snovi pri pouku fizike v 8. razredu. Na praktičen način smo želeli podrobneje raziskati silo lepenja (trenja), saj je tej učni temi v učnem načrtu v osnovni šoli namenjena zgolj ena šolska ura.

Delo v okviru naloge je bilo predvsem praktično, saj smo morali izvesti številne meritve. Poskusi so bili relativno enostavni in zanje nismo potrebovali veliko posebnih pripomočkov - razen, da smo izdelali klanec s spremenljivim nagibom, ki smo ga potrebovali za eno od meritev. Pri izvedbi meritev smo morali pokazati veliko spretnosti in iznajdljivosti, prebrati pa smo morali tudi nekaj strokovne literature in se naučiti nekaterih novih pojmov in izračunov.

V okviru raziskovalne naloge smo potrdili vseh pet hipotez.

Hipoteza št. 1:

Najprej smo raziskovali in kasneje seveda tudi potrdili hipotezo, da je lepenje odvisno od teže telesa. Ta odvisnost, ki je razvidna iz Tabele 2 (stran 20), je premo sorazmerna, kar pomeni, da se sila lepenja spreminja sorazmerno s težo telesa – sorazmernostni koeficient je koeficient lepenja, ki je v glavnem odvisen od vrste snovi stičnih ploskev telesa in podlage: pri isti podlagi velja, da je pri n -krat večji teži telesa, sila lepenja n -krat večja.

Hipoteza št. 2:

S poskusi dobljeni koeficienti trenja se zelo dobro ujemajo s tistimi, ki smo jih poiskali v literaturi. Kot smo prebrali v literaturi, je sila lepenja pogosto odvisna še od nekaterih dodatnih dejavnikov in ne zgolj od vrste snovi. Na lepenje namreč vpliva tudi kvaliteta obdelave površine, prisotnost nečistoč, temperatura in še nekaterih dejavnikov. To se nam je potrdilo v primeru koeficienta med lesom in ledom, kjer smo pri naših meritvah dobili višjo vrednost ($k = 0,28$) od tistih v literaturi ($k = 0,15$). To nas je najprej presenetilo, z razmislekom pa smo hitro prišli do vzroka za tolikšno odstopanje. Led je namreč spolzek zato, ker je običajno prekrit s tanko plastjo vode, ki deluje kot mazivo. V našem primeru smo poskus izvedli na »suhi« ledeni površini, kar pomeni, da smo telo vlekli po ledeni podlagi takoj, ko smo led vzeli iz zamrzovalnika.

Hipoteza št. 3:

Potrdili smo tudi hipotezo, da trenje ni odvisno od velikosti stične ploskve. Pred izvedbo poskusov smo bili glede tega nekoliko v dilemi, saj ta domneva ni tako preprosta. Izid lahko razložimo z dejstvom, da se pri manjši stični površini sila porazdeli po manjši površini in je zato tlak večji – in obratno: pri večji stični površini je tlak manjši. Sila lepenja pa je v obeh primerih enaka.

Hipoteza št. 4:

Najbolj nas je zanimala hipoteza, da je lepenje odvisno od vlažnosti podlage. Ta radovednost je bila povezana z splošno znanim opozorilom, da je zaviranje na vlažni cesti lahko nevarno. Domnevali smo, da odvisnost lepenja od vlažnosti obstaja, seveda pa nismo vedeli, kolikšen je ta vpliv. Dobljeni rezultat nas je delno presenetil, saj smo dobili na mokri podlagi za več kot 30 % manjšo silo lepenja. Ta podatek se ujema s tistimi, ki smo jih našli v literaturi. Zavedamo se, da je naša meritev zelo približna, saj je izmerjena sila odvisna še od številnih drugih dejavnikov - med drugim tudi od količine vode na podlagi.

Hipoteza št. 5:

Prikazali in preizkusili smo tri različne načine merjenja in potrdili hipotezo po kateri so rezultati neodvisni od izbranega načina merjenja. Najbolj učinkovit in natančen se nam je zdel način, kjer smo lepenje merili s pomočjo spreminjanja nagiba klanca.

Z delom v okviru naloge smo se naučili veliko novega. Všeč nam je bilo, da smo sami izvajali meritve. Spoznali smo, da je treba na dobljene rezultate gledati z »določenim dvomom« in da je potrebno o njih veliko razmišljati oziroma iskati razlage za njih. Pri izvajanju poskusov smo ugotovili, da je natančno merjenje sile lepenja zelo zahtevno opravilo in da na velikost sile lepenja vpliva veliko dodatnih dejavnikov. Sila lepenja je morda na prvi pogled »dolgočasna« sila, ki pa v sebi skriva veliko zanimivih dejstev. Nekaj smo jih uspeli odkriti tudi mi v svoji raziskovalni nalogi.

