

# Regresijski model odnosa ekonomskih i ekoloških karakteristika građevinskih materijala

---

**Topolnjak, Krista**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:570338>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 298/GR/2017**

**Regresijski model odnosa ekonomskih i ekoloških  
karakteristika građevinskih materijala**

**Krista Topolnjak, 5680/601**

Varaždin, rujan 2017. godine



# **Sveučilište Sjever**

## **Graditeljstvo**

*Završni rad br. 298/GR/2017*

## **Regresijski model odnosa ekonomskih i ekoloških karakteristika građevinskih materijala**

### **Studentica**

Krista Topolnjak, 5680/601

### **Mentorica**

doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, pred.

Varaždin, rujan 2017. godine



## Sažetak

Rad se odnosi na određivanje regresijskog modela odnosa ekonomskih i ekoloških karakteristika materijala kod odabira u graditeljstvu. Kako bi se do toga uopće došlo, prethode neka od teorija, razjašnjenja. Rad je podijeljen u više dijelova. U prvom dijelu biti će riječi o statistici, točnije njezinom dijelu – korelaciji i regresiji. Njezino značenje, upotreba, odnosi, rješenja i analize. U današnjici, mnogo se pažnje posvećuje pretpostavkama, nagađanjima stoga su spomenute analize od velike koristi u današnjem društvu te poslovanju. Kako bismo započeli teoriju te sam konačni dolazak do modela regresije, potrebno je informirati se o čemu će biti riječi. U ovom radu to su građevinski materijali. Stoga je drugi dio posvećen teoriji građevnog materijala. Odrađeni su neki od osnovnih materijala – drvo, metali, polimerni materijali, beton. Naglasak je na osnovnim sirovinama svakog od materijala, tehnološkom procesu proizvodnje, fizikalno-mehaničkim svojstvima, vrstama materijala te na njihovoj upotrebi. Neke od vrijednosti su prikazane tablično radi lakše usporedbe. Nakon razrade svakog od materijala, navedene su ekološke prednosti materijala i njihov utjecaj na okoliš. Razradivši dio teorije, u tablici su prikazani konačni materijali i njihove cijene te korištenje. Korištenjem koeficijenta korelacije određena je mjera povezanosti ovih varijabli. Nakon određivanja jačine korelacije razvijen je regresijski model.

*Ključne riječi: korelacija, regresija, građevinski materijali, ekološke prednosti*

## **Abstract**

This paper refers to determination of the regression model of relationship between economic and ecological characteristics of building materials. To achieve this precede theories and research. The work is divided into several parts. In the first part there will be words about statistics, more precisely the part – correlation and regression. It implies meaning, usage, relationships, solutions and analysis. Today, a lot of attention is paid to the assumptions and speculations, so these analyses are great benefit in today's society and business. In order to begin the theory and final arrival till regression modul it's necessary to inform what the word will be. In this case they are building materials. So the second part is devoted to the theory of building materials. Some of the basic materials – wood, metals, polymer materials, concrete – have been processed. The emphasis is on the basic raw materials of each material, the technological process od production, the physical-mechanical properties, the types of materials and their use. Some of the values are shown in a table for easier comparison. After the elaboration of each material, the environmental benefits of the material and their environmental impact are listed. By elaborating part of the theory, the table shows the final materials and their prices and use. Using the coefficient of correlation, the correlation measure of these variables has determined. After determining correlation strenght, a regression model was developed.

*Keywords: Correlation, regression, building materials, ecological advantage.*

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Krista Topolnjak	MATIČNI BROJ	5680/601
DATUM	4.9.2017.	KOLEGIJ	Zaštita okoliša
NASLOV RADA	Regresijski model odnosa ekonomskih i ekoloških karakteristika građevinskih materijala		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Regression model of relationship between economic and ecological characteristics of building materials		
MENTOR	dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Božo Soldo 2. Velimir Pavlic, pred. 3. dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović 4. Nikola Hrnčić, pred. - zamjenski član 5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ 298/GR/2017

### OPIS

U radu je potrebno opisati vrste materijala koji se koriste u graditeljstvu (kamen, drvo, građevna keramika, staklo metali, polimerni materijali). Navesti osnovne sirovine, tehnološke procese proizvodnje i fizikalno-mehanička svojstva svakog od materijala.

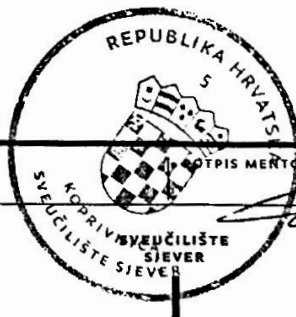
Naglasak kod svakog od materijala će biti na njegova ekološka svojstva i na cijenu. Pomoću ove dvije karakteristike odrediti će se da li postoji i koliko je jako korelacija među njima.

Nakon određivanja koeficijenta korelacije odrediti će se mjera povezanosti između ovih varijabli. Nakon dokazivanja korelacije i određivanja vrste razviti će se regresijski model.

1. Objasniti osnove o korelaciji i regresiji
2. Opisati vrste materijala u graditeljstvu, navesti osnovne sirovine, opisati tehnološke procese proizvodnje i njihova fizikalno-mehanička svojstva
3. Detaljno prikazati ekološka svojstva i cijene svakog od materijala radi daljnje obrade podataka
4. Izračunati koeficijent korelacije te odrediti mjeru povezanosti između cijene i ekoloških karakteristika materijala
5. Razviti regresijski model

ZADATAK URUČEN

19. 09. 2017.



Sveučilište  
Sjever



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, KRISTA TOPOLJAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom REGRESIJSKI MODEL ODNOSA EKONOMSKIH (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Topoljak Krista  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, KRISTA TOPOLJAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom REGRESIJSKI MODEL ODNOSA EKONOMSKIH (upisati naslov) čiji sam autor/ica. 1 EKOLOŠKIH KARAKTERISTIKA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Topoljak Krista  
(vlastoručni potpis)



# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Korelacija i regresija .....	2
2.1.Korelacijska analiza.....	2
2.2. Regresijska analiza.....	4
3. Građevinski materijal.....	7
3.1.Drvo.....	10
3.1.1.  Kemijski sastav suhe tvari drveta.....	10
3.1.2.  Vlažnost, tvrdoća i trajnost drva.....	10
3.1.3.  Tekstura drva, boja i miris.....	12
3.1.4.  Gustoća, toplinska vodljivost i čvrstoća.....	12
3.1.5.  Greške i oštećenja.....	13
3.1.6.  Mehanička prerada drva.....	13
3.2.Metali.....	15
3.2.1.  Proizvodnja željeza.....	15
3.2.2.  Dobivanje čelika.....	17
3.2.3.  Fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika.....	17
3.2.4.  Označavanje čelika za armirani beton.....	18
3.2.5.  Korozija metala.....	18
3.2.6.  Zaštita metala od korozija.....	19
3.3.Polimerni materijali.....	20
3.3.1  Polimerni materijali dobiveni reakcijom polimerizacije.....	20
3.3.2.  Polimerni materijali dobiveni reakcijom poliadicije.....	21
3.3.3.  Podjela polimernih materijala.....	21
3.3.4.  Složeni polimerni materijali.....	22
3.3.5.  Fizikalno-mehanička svojstva polimera.....	22
3.3.6.  Polimer beton.....	23
3.3.7.  Ekspandirani polistiren.....	23
3.4.  Beton.....	24
3.4.1.  Svježi beton.....	24
3.4.2.  Ispitivanje kvalitete svježeg betona.....	25

3.4.3. Reologija svježeg betona.....	26
3.4.4. Vanjski utjecaji na ugrađeni beton.....	27
4. Ekološke prednosti materijala i cijene.....	28
5. Zaključak.....	31
6. Literatura.....	32

# 1. Uvod

Pored mnogobrojnih znanstvenih područja, tehničke znanosti se, između ostalog, bave statistikom i vjerojatnošću. Iako ne pretjerano povezano no nerado se priznaje kako se vremena mijenjaju iz trenutka u trenutak. Za razliku od prethodnih nekoliko desetaka, čak i stotina godina, želi li se biti „na vrhu“ potrebno je poznavati mnogobrojne zakonitosti, pravila te druge čimbenike koji dolikuju sposobnosti struke. Razlozi tome su svakodnevna nova, poboljšana otkrića koja omogućuju unaprjeđenje u struci. Značajka koja možda najviše pokazuje razliku između prosječnog i izvanrednog inženjera jest njegova sposobnost da učinkovito izvede model koji pruža dobru ravnotežu između složenosti i točnosti.

Industrije pronalaze razne načine kako bi pojednostavili, poboljšali te unaprijedili svoje poslovanje. Bilo da se radi o radnoj snazi, robotici, vrsti poslova, materijalu. Sve se više koriste računalni programi koji zamjenjuju čovjeka. Kako bi se uopće do toga došlo, tome prethode brojna istraživanja, podaci i vještine. Veliki udio uspješnosti pripada pretpostavkama „Na koji način ćemo uspjeti?“ – dakle budućnosti ili osvrtnjem u prošlost „Što možemo promijeniti?“. Kod ovih načina istraživanja od pomoći mogu biti raznorazni grafovi, tabele, jednadžbe. Primjerice u graditeljstvu – o čemu će u nastavku biti više riječi. Neki od načina, kako doći do gore navedenih rješenja, leže u statistici – točnije područje korelacije i regresije.

Čuvši spomenutu riječ „statistika“, mnogi ljudi su u zabludi jer već na samom početku zaključče da se ista bavi samo analizom brojeva što dakle, u stvarnosti nije istina, točnije brojevi su samo jedan dio. Statistika može biti bilo koji element koji mi želimo ubrojiti u naše istraživanje. Ukratko, statistika jest disciplina koja se bavi prikupljanjem, analizom, interpretacijom i prezentacijom podataka, te metodama kojima se donose zaključci na temelju danih podataka. Dakle ne pretjerano komplicirano gradivo jer je inženjerima potrebna jednostavnost kako bi mogli izvoditi analize i sinteze slučajnih procesa. Ukoliko je model previše pojednostavljen, on može dati rezultate i zaključke koji se ne mogu primijeniti na pravi fenomen. Suprotno tome, previše složeni model može ograničiti potencijal primjene, teorija postaje previše teška da bi bila korisna te dovodi do opterećenja računalnih resursa koje imamo raspolaganju.

## 2. Korelacijska i regresija

### 2.1. Korelacijska analiza

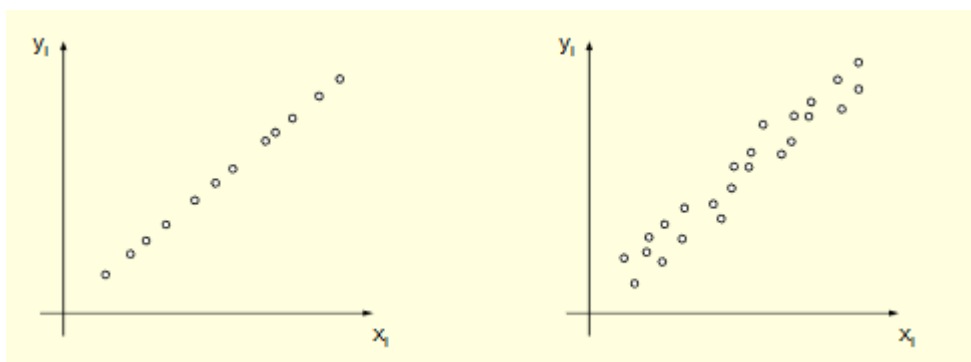
Pojam korelacije predstavlja uzajamnu povezanost vrijednosti dviju skupina podataka, a iskazuje stupanj povezanosti ispitivanih pojava. Kod izračuna potrebno je koristiti koeficijente koji dovode do preciznijih rješenja. Uporaba koeficijenata korelacije ovisi o vrsti podataka odnosno o ljestvici koju slijede podaci. U najčešćim slučajevima koriste se Pearsonov i Spearmanov koeficijent korelacije. *Pearsonov koeficijent* korelacije pokazuje mjeru jakosti i smjer povezanosti dviju varijabli. Koristi se za varijable na intervalnoj ili omjernoj ljestvici (brojčani podaci) koje su u linearnom odnosu. Linearni odnos varijabli može se očitati s točkastog dijagrama i podrazumijeva način na koji točke slijede i rasipaju se oko pravca. Kod nekih slučajevima podaci mogu biti međusobno povezani, no nisu nužno u linearnom odnosu stoga se ne može uvijek izračunati Pearsonov koeficijent korelacije.

Ovaj se koeficijent označava sa malim slovom  $r$  i za uzorak veličine  $n$  dan je izrazom:  $r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$ . Vrijednost  $r$  kreće se u intervalu  $[-1, 1]$  i pokazuje smjer i jakost linearne statističke veze između dviju pojava. Predznak Pearsonovog koeficijenta pokazuje smjer korelacije. Pozitivne vrijednosti  $r$  imamo onda kada rast vrijednosti jedne varijable prati rast druge varijable. Tada govorimo o pozitivnoj povezanosti.[Keček i dr., 2012.]

U slučaju da jedna vrijednost varijable raste a druga pada, Pearsonov koeficijent ima negativne vrijednosti, točnije to predstavlja negativnu povezanost. Potpuna korelacija je za vrijednosti Pearsonovog koeficijenta  $r = -1$ , to jest  $r = 1$ .

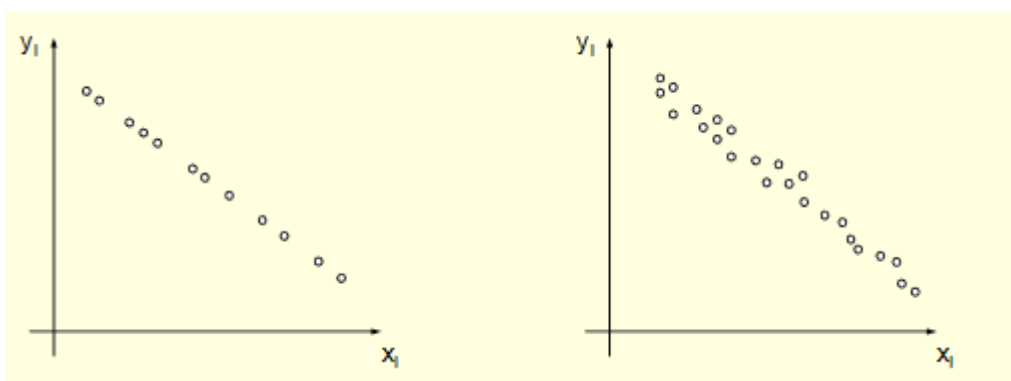
Za vrijednost  $r = 0$  ne postoji linearna korelacija što upućuje na činjenicu kako poznajući vrijednosti jedne varijable ne možemo ništa zaključiti o vrijednostima druge varijable. Spomenute vrijednosti mogu se prikazati preko dijagrama rasipanja.

Crta se u pravokutnom koordinatnom sustavu gdje mjerila na osima ne moraju započeti s nulama. Na primjerima (slika 2.1.) dani su parovi vrijednosti dviju promatranih numeričkih varijabli, a koji ujedno prikazuju i karakteristične slučajeve rasipanja za različite vrijednosti koeficijenata korelacije  $r$ .



a. Pozitivna funkcionalna veza

b. Pozitivna statistička veza, linearnog oblika



c. Negativna funkcionalna veza

d. Negativna statistička veza

Slika 2.1. Primjeri korelacijske analize (S. Mikulić, 2009., preuzeto: 02.09.2017.)

Ovisno o iznosu koeficijenta korelacije, razlikuju se slučajevi prikazani u Tablici 2.1.

Tablica 2.1. Odnos apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije i korelacije [Keček i dr., 2012.]

Apsolutne vrijednosti koef. korelacije	Korelacija
0	Odsutnost korelacije
0.01 – 0.49	Slaba korelacija
0.50 – 0.79	Korelacija srednje jačine
0.80 – 0.99	Čvrsta korelacija
1	Potpuna korelacija

Koeficijent determinacije jest kvadrat Pearsonovog koeficijenta korelacije –  $r^2$ . Njegova vrijednost pokazuje u kojem se postotku kvadrati odstupanja mogu objasniti vezom između

varijabli. U slučajevima slabe korelacije, koeficijent determinacije je manji nego kod čvrstih korelacija.

Primjerice: • za  $r = 0.4 \rightarrow r^2 \cdot 100 \% = 16 \%$

• za  $r = 0.8 \rightarrow r^2 \cdot 100\% = 64 \%$

Rezultat jedne varijable ne podrazumijeva uzrokovanje rezultata druge varijable, iako se koriste rezultati jedne varijable kako bi se predvidjeli rezultati druge varijable.

Spearmanov koeficijent korelacije  $r_s$  računa se ukoliko raspodjela podataka značajno odstupa od normalne raspodjele te ako postoje podaci koji odstupaju od većine izmjerenih podataka. Ovim se koeficijentom mjeri stupanj i smjer dviju pojava predočenih parova varijabli. Spearmanov koeficijent može se računati i na manjim uzorcima. Ukoliko je rezultat dobivenog  $r_s = 0$  – povezanosti među varijablama zaista nema.

Temelj Spearmanovog koeficijenta korelacije ranga su parovi modaliteta numeričkih varijabli transformiranih u rang-varijable. Parovi su:  $r(x_i), r(y_i), i = 1, 2, \dots, n$ . Koeficijent linearne korelacije, odnosno Paersonova forma, računat upotrebnom parova modaliteta rang-varijabli (Spearmanov koeficijent) dan je izrazom [I.Šošić, Zagreb, 2006.]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}, \quad d_i = r(x_i) - r(y_i), \quad -1 \leq r_s \leq 1.$$

## 2.2. Regresijska analiza

Regresija [lat. *regressio – povrat, vraćanje*] predstavlja povezanost više varijabli s jednom ciljnom varijablom. Dakle, istovremeni prikaz utjecaja više varijabli na jednu. Ova se analiza sastoji u primjeni metoda kojima se analitički/jednadžbom objašnjava statistička veza između promatranih pojava. Istražuje se uzročno-posljedični karakter veze. Provedena analiza temelji se na regresijskom modelu – jednadžba s parametrima i varijablama kojima se objašnjava povezanost promatranih pojava te se predviđaju vrijednosti zavisne varijable za određene vrijednosti nezavisne varijable. Mnoge tehničke i znanstvene discipline posvećuju se rješavanju problema gdje se bave određivanjem odnosa između skupa varijabli.

Prema Keček i dr., 2012, ukoliko svakoj promjeni jedne varijable odgovara približno jednaka linearna promjena druge varijable – govori se o linearnoj regresiji. Matematički opis iste dan je jednadžbom pravca :

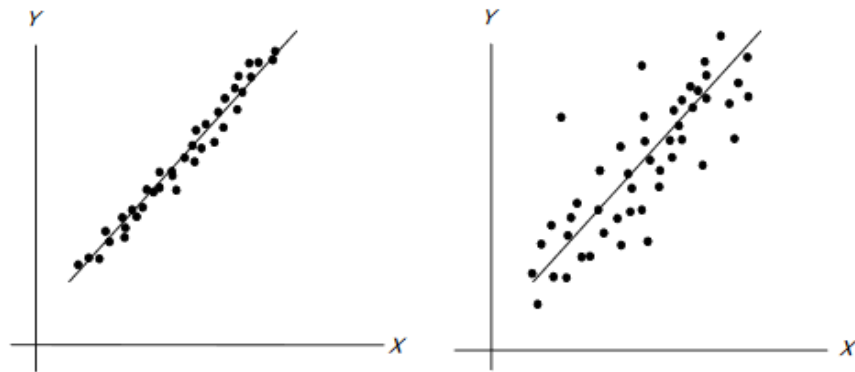
$$y = a + bx \quad \text{gdje je } y \text{ - zavisna varijabla}$$

$x$  – nezavisna varijabla

$b$  – regresijski koeficijent

$a$  – konstantni član

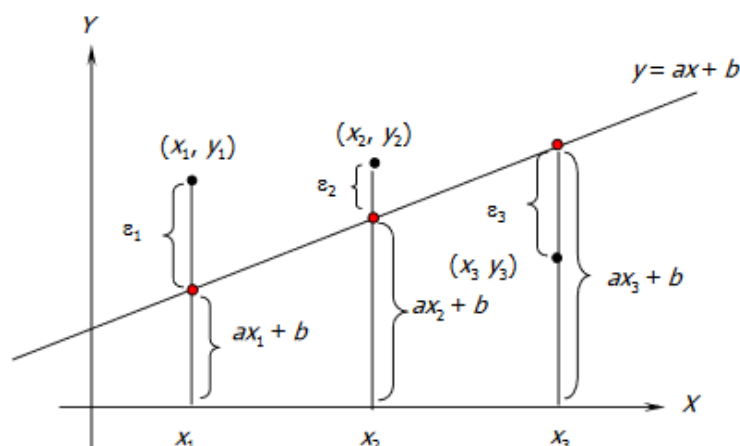
Pravac  $y = a + bx$  (slika 2.2.) jest regresijski pravac. Regresijski koeficijent  $b$  pokazuje za koliko se u prosjeku promijeni varijabla  $y$  pri jediničnoj promjeni varijable  $x$ . Konstantni član  $a$  pokazuje regresijsku vrijednost varijable  $y$  kada varijabla  $x$  poprimi vrijednost nula.



Slika 2.2. Primjer regresijske analize (A. Vinković Kravaica, 2017, preuzeto: 02.09.2017.)

Gore navedeno nalaze se dijagrami rasipanja s pravcem „koji najbolje odgovara“ točkama. Pravac koji „najbolje odgovara“ treba biti onaj pravac koji prolazi kroz maksimalni broj točaka i nije previše udaljen od točaka kroz koje ne prolazi.

Kako bi bio najbolji, pravac mora zadovoljiti određene standarde: ukoliko iscrtamo udaljenosti između točaka i pravca u vertikalnom smjeru te ih kvadriramo i zbrojimo, najbolje se uklapa pravac za koji je zbroj tih kvadrata udaljenosti najmanji. Pravac linearne regresije određujemo **metodom najmanjih kvadrata** (slika 2.3.). Ova se metoda temelji na uvjetu da zbroj kvadrata vertikalnih odstupanja točaka u dijagramu rasipanja od traženog pravca regresije bude minimalan.



*Slika 2.3. Vertikalna odstupanja od pravca regresije (A. Vinković Kravaica, 2017, preuzeto:  
02.09.2017)*



### 3. Građevinski materijal

Građevni materijali su svi materijali koji se upotrebljavaju u građevinarstvu. Mogu se podijeliti prema [M. Mikoč, 2006.]:

- a. načinu proizvodnje: prirodni i umjetni
- b. uporabi: konstrukcijski, veziva, izolacijski, materijali za oblaganje

Od početka čovječanstva, čovjek je kao građevne materijale koristio samo prirodne materijale koje je nalazio u svojoj neposrednoj blizini, okolišu. Neki od tih materijala bili su: kamen, drvo, zemlja, koža, trska.

Kasnijim razvojem ljudskog društva ali i same tehnologije, razvila se, osim prerade i obrade prirodnih gradiva još i industrija novih umjetnih gradiva. To je razlog današnjem postojanju raznovrsnog gradiva.

Iz dana u dan nastaju novija, bolja svojstva materijala. Dobro poznavati gradivo jest jedan od važnijih uvjeta za njihovu ispravnu primjenu pri projektiranju i gradnji objekata.

Pod pojmom „poznavanje gradiva“ podrazumijeva se poznavanje tehnološkog postupka i njegovog dobivanja i prerade, poznavanje kemijskog sastava gradiva, poznavanje tehničkih svojstava prije uporabe i za vrijeme uporabe, ponašanje ugrađenog gradiva nakon ugradnje pod utjecajem okoliša. [M. Mikoč, 2006.]

Dobro poznavanje gradiva omogućuje odabir najpovoljnijeg gradiva za određenu građevinu kako bi ista u potpunosti odgovarala svojoj namjeni. Dakle, kako bi se postigla stabilnost, dugotrajnost te što jeftinije održavanje.

**Prirodna gradiva** jesu ona koja se nalaze u prirodi i koja se mogu ugrađivati uz manju ili veću prethodnu obradu i preradu. U prirodna gradiva ubrajaju se: kamen, drvo, pijesak i šljunak (kao prirodno usitnjen kamen).

Kamen i drvo su od nekada glavna gradiva u graditeljstvu upravo zbog svoje trajnosti, dobrih fizikalno-mehaničkih svojstava te posebnog izgleda. Prilikom pojave betona i armiranog betona, kamen se počinje sve manje koristiti u svrhu konstrukcije ali se zato počinje više koristiti u dekorativne svrhe, primjerice za izradu različitih obloga (fasade, unutarnji pregradni zidovi).

**Umjetna gradiva** su ona gradiva čija se proizvodnja temelji na prirodnim sirovinama mineralnoga ili organskoga podrijetla u kombinaciji sa kemijskom ili mehaničkom preradom. U

današnje vrijeme ova vrsta gradiva većinom prevladava u graditeljstvu. Neka od umjetnih gradiva su: vapno, gips, cement, mort, beton, armirani beton, staklo, polimerni materijali, bitumen, asfalt.

Složena gradiva (kompozit) su mješavina dvaju ili više materijala različitih svojstava koji se u mješavini ističu novim poboljšanim svojstvima. Gradiva koja su u najširoj upotrebi su [M. Mikoč, 2006.]:

- a. drvo ( prirodna mješavina celuloznih vlakana, lignina i drugih organskih spojeva )
- b. beton ( mješavina cementa, agregata prirodnog kamena, vode, zraka i specijalnih dodataka)
- c. armirani beton ( beton ojačan čeličnim šipkama )
- d. asfalt ( mješavina bitumena i agregata).

Potrebno je odrediti uvjete upotrebe kako bi se izabralo gradivo. Uvjeti uporabe su: temperatura, temperaturne razlike, brzina temperaturnih promjena. Temperaturne razlike su uzrok toplinskih naprezanja u materijalu te one utječu na kemijske reakcije sinteze i razgradnje materijala. Visoke radne temperature isključuju mnoge materijale.

Tlak, tlačne razlike i brzine promjene tlaka isto tako mogu uzrokovati zamor materijala. Pojavljuju se deformacije u materijalu čiji je uzrok opterećenje i brzina promjena opterećenja. Kemijska agresivnost okoliša zahtjeva primjerenost gradiva okolišu, kako bi razgradnja gradiva zbog kemijskih promjena u gradivu, uključujući i koroziju bila u prihvatljivim granicama.

**Konstruktivna (nosiva) gradiva** jesu prvobitna gradiva u graditeljstvu koja se upotrebljavaju za izradu nosivih konstrukcijskih elemenata. Konstruktivna gradiva jesu: beton i armirani beton, čelik, kamen, opeka, drvo, polimerni materijali (ojačani staklenim, ugljičnim ili poliamidnim vlaknima). Karakteristika konstrukcijskih gradiva je da zbog dobrih mehaničkih svojstava omogućuju građevnim elementima preuzimanje statičkih i dinamičkih opterećenja.

**Građevna veziva** su materijali koji pomiješani s vodom daju plastične mase koje nakon vezivanja otvrdnu na zraku ili u vodi. Ovim se vezivima spajaju mnogi materijali, kao što su primjerice opeka, prirodni i umjetni kamen i sve vrste betona. Veziva koja valja razlikovati su: zračna, hidraulična, vatrootporna, bitumenska, plastična veziva.

**Izolacijski građevni materijali** su svi zaštitni materijali koji zaštićuju ili odvajaju građevinu ili neki građevni element od utjecaja vlage, temperaturnih razlika, buke, vibracija i od utjecaja različitih kemijskih tvari. U graditeljstvu se primjenjuju tri vrste izolacije: hidroizolacije,

termoizolacije, zvučne izolacije. Proizvodi od polimernih materijala danas se sve više koriste kao izolacijski materijal. [M. Mikoč, 2006.]

**Vodoizolacijski materijali** služe za zaštitu čitave građevine ili pojedinih dijelova građevine od štetnih utjecaja oborinskih i podzemnih voda. U svrhu vodoizolacijskih materijala koriste se nepropusni materijali koji u dodiru s vodom ostaju nepromijenjeni. Neki od takvih materijala su: bitumen i katran, polimerne folije, metali, specijalni betoni i mortovi, premazi, boje. Voda uzrokuje propadanje drveta, hrđanje čelika, a pri niskim temperaturama led razara kamen, beton, opeku i žbuku.

**Toplinsko izolacijski materijali** upotrebljavaju se u graditeljstvu za smanjenje provođenja topline u susjedne prostorije to jest iz grijanih prostorija u okoliš. Neki od najčešće korištenih materijala jesu: lagani betoni, kamena i staklena vuna, polimerni pjenasti materijali, izolacijska stakla. Potrebno je koristiti lagane i porozne građevne materijale s malim koeficijentom toplinske vodljivosti. Jedan od najboljih toplinskih izolatora je zrak – iskorišteno u različitim šupljim blokovima od opeke i betona.

**Zvučno izolacijski materijali** upotrebljavaju se kako bi se postiglo smanjenje nepoželjne buke u radnim i stambenim prostorijama čiji je izvor vlastiti ili vanjski. Materijali koji se koriste u ovakvim slučajevima su: kamena i staklena vuna, poluretanska pjena, stiropor. Navedeni materijali dobro upijaju zvuk to jest smanjuju refleksiju zvuka od površine zidova, stropa ili poda.

**Materijali za oblaganje** koriste se za zaštitu ugrađenih materijala ili za zaštitu čitavih građevina. Prema namjeni, razlikuju se tri vrste obloga:

- a. Habajuće obloge (asfalti, betoni, parketi, pločice, polimerni materijali)
- b. Izolacijske obloge (vodoizolacijske, toplinsko izolacijske, zvučno izolacijske)
- c. Ukrasne obloge (kamen, drvo, aluminij, bakar, polimerni materijali). [M. Mikoč, 2006.]

## 3.1. Drvo

Drvo je porozno tijelo izgrađeno od čvrstih stjenki biljnih stanica i fine mreže pora. Međusobno se razlikuju prema: vlažnosti, tvrdoći, trajnosti, izgledu, boji, mirisu, gustoći, poroznosti, toplinskoj vodljivosti, tlačnoj čvrstoći i čvrstoći na savijanje. Sve vrste drveta imaju isti kemijski sastav suhe tvari drveta.

### 3.1.1. Kemijski sastav suhe tvari drveta

Suha tvar drva sastoji se od 50% ugljika, 44% kisika, 5.5% vodika, 0.2% dušika i 0.3% pepela. Najvećim dijelom drvo je izgrađeno od građevnog polisaharida celuloze koja daje čvrstoću biljnim stjenkama, pričuvnog polisaharida škroba i pektinske tvari. Ovo zajedno čini 75% masenog udjela u masi drva, od čega je celuloza kao najvažniji sastojak drvene tvari zastupljena u prosjeku s 50%. Ostali sastojci drva, fenolne tvari i lignin zastupljeni su u drvu s oko 20%, terpeni i smolne kiseline s 3.5%, alifatske kiseline, alkoholi i proteini s 1% i anorganske tvari (pepeo) s oko 0.5%. [M. Mikoč, 2006.]

### 3.1.2. Vlažnost, tvrdoća i trajnost drva

Voda je sastavni dio prirodnih materijala te se u drvu dijelom nalazi u vezanom stanju a dijelom u slobodnom stanju. U stjenkama stanica nalazi se vezana voda dok se u kapilarama drvenih stanica nalazi slobodna voda. S obzirom na maseni udio vode u drvu razlikuje se:

- a. Posve suho drvo s masenim udjelom vode od 0% (osušeno na 103 °C)
- b. Prosušeno drvo s masenim udjelom vode od 8 do 22%
- c. Provelo drvo s masenim udjelom vode od 22 do 40%
- d. Sirovo drvo s masenim udjelom vode većim od 40%

Prema tvrdoći, drva se dijele na:

1. Vrlo meko drvo: smreka, topola, lipa, bor, jela, vrba – tvrdoće do  $35 \frac{N}{mm^2}$
2. Meko drvo: ariš, joha – tvrdoće 35 do  $50 \frac{N}{mm^2}$
3. Srednje tvrdo drvo: kesten, orah, dud – tvrdoće od 50 do  $65 \frac{N}{mm^2}$

4. Tvrdo drvo: hrast, javor, jasen, bukva, grab, trešnja – tvrdoće od 65 do  $100 \frac{N}{mm^2}$
5. Vrlo tvrdo drvo: drijen, badem – tvrdoće od 100 do  $150 \frac{N}{mm^2}$
6. Tvrdo kao kost: ebanovina – tvrdoće veće od  $150 \frac{N}{mm^2}$

*Trajnost* drva predstavlja sposobnost otpora promjenama svojstava i oštećenjima uslijed djelovanja atmosferskih utjecaja, raznih kemijskih tvari i štetnika biljnog ili životinjskog podrijetla. Prirodnom trajnošću drva podrazumijeva se vrijeme u kojem drvo zadržava prirodna svojstva. Ista se kreće u granicama od nekoliko godina do tisuću godina. Primjeri trajnosti drva prikazani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Vremenska trajnost pojedinih vrsta drva (M. Mikoč, 2006.)

Vrsta drva	Trajnost drva u godinama			
	Željeznički pragovi	Na slobodnom prostoru, nezaštićeno	Na slobodnom prostoru, pod krovom	Stalno u suhom
<b>Ariš</b>	9-10	40-90	90-150	1800
<b>Bor</b>	7-8	40-85	90-120	120-1000
<b>Jela</b>	4-5	50	50	900
<b>Smreka</b>	4-5	40-70	50-75	120-900
<b>Breza</b>	-	3-40	3-40	500
<b>Brijest</b>	-	60-100	80-180	1500
<b>Bukva</b>	2-3	10-60	50-100	300-800
<b>Hrast</b>	14-18	50-120	100-200	300-800
<b>Jasen</b>	-	15-60	60-100	300-800
<b>Topola</b>	-	3-40	20-40	500
<b>Vrba</b>	-	5-30	20-40	600

Ukoliko se drvo zaštićuje, trajnost se povećava. Zaštita drva bez uporabe antiseptičkih sredstava vrši se pougljenjivanjem. Ista se sastoji od površinskog zagrijavanja, obično onoga dijela drva koje dopire u zemlju, time se unište mikroorganizmi na drvu i onemogućuje njihovo naknadno prodiranje u drvo. Zaštita drva parenjem sastoji se od izlaganja drva toploj vodi to jest vodenoj pari pri 80 do 120 °C. Drvo se može zaštititi antiseptičkim sredstvima koja se sastoje od premazivanja površine katranskim uljem, otopinom cinkovog klorida ( $ZnCl_2$ ) ili natrijevog fluorida ( $NaF$ ) ili močenjem u toplo katransko ulje, otopinu živinog klorida ( $HgCl_2$ ) i bakrenog sulfata ( $CuSO_4$ ).

Osim navedenih zaštita, drvo se još može zaštititi i smjesom katranskog ulja i cinkovog klorida ( $ZnCl_2$ ) što podrazumijeva utiskivanje tlaka u drvo. Za metaliziranje se upotrebljava metalizirana boja koja se nanosi na drvo koje je prethodno premazano bitumenom.

### 3.1.3. Tekstura drva, boja i miris

Izgled drva jest prikaz njegove strukture promatrane prostim okom na mehanički obrađenim površinama. Na području Hrvatske boja vrsta drva kreće se od bjelkastog do tamno smeđeg tona s neprimjetnim razlikama u tonovima. Svako drvo ima određeni miris – potječe od terpena ili produkata razaranja. Ugodan miris ima crnogorica, bor, ariš i smreka.

### 3.1.4. Gustoća, toplinska vodljivost i čvrstoća

Potrebno je razlikovati gustoću drva bez pora  $\rho$  i obujamsku gustoću drva s porama  $\rho_z$ . Gustoća drva kreće se u granicama od 1460 do 1560  $\frac{kg}{m^3}$  a obujamska gustoća od 300 do 400  $\frac{kg}{m^3}$  (topola) te od 900 do 1000  $\frac{kg}{m^3}$  (badem). Treba razlikovati obujamsku gustoću suhog drva, prosušenog, provelog i sirovog drva.

Toplinski koeficijent vodljivosti ovisan je o strukturi drva, obujamskoj gustoći u smjeru vlakanca i vlazi drva. Ukoliko drvo ima manju obujamsku gustoću tada ima i manji toplinski koeficijent vodljivosti. Za tehničku uporabu veoma je važno da drvo ima malo toplinsko širenje i malu toplinsku vodljivost.

Kako bi drvo bilo odličan izolator to jest loš vodič topline, vidljivo je iz usporedbe toplinskog koeficijenta vodljivosti drva  $\lambda$  koji iznosi od 0.10 do 0.15  $\frac{W}{mK}$  u odnosu na aluminij kod kojega je  $\lambda = 200 \frac{W}{mK}$  i željezo kojem je  $\lambda = 47.5 \frac{W}{mK}$ . Srodno drvu, niske koeficijente toplinske vodljivosti ima opeka i staklo s  $\lambda = 0.7-0.8 \frac{W}{mK}$ , voda s  $\lambda = 0.55 \frac{W}{mK}$  i pijesak s  $\lambda = 0.07 \frac{W}{mK}$ .

Tlačna čvrstoća  $R_{mt}$  za različite vrste drva u smjeru vlakanca iznosi 10-110  $\frac{N}{mm^2}$  i 3 je do 10 puta veća od čvrstoće na tlak okomito na vlakanca. Vlačna čvrstoća drva  $R_m$  u smjeru vlakanca iznosi 10 - 225  $\frac{N}{mm^2}$  i znatno je veća od čvrstoće okomito na vlakanca. [M. Mikoč, 2006.]

Čvrstoća na savijanje  $R_{ms}$  kreće se u granicama 10-30  $\frac{N}{mm^2}$  i ispituje se okomito na smjer vlakanca. Čvrstoća na cijepanje  $R_{mc}$  izvodi se na način da se postavi klin u procijep te on prodire

u uzorak, dinamički uslijed udarca ili statički uslijed postupnog povećanja sile i cijepa uzorak u dva dijela u uzdužnom smjeru.

### 3.1.5. Greške i oštećenja

Greškama se smatraju sve nepravilnosti strukture, teksture (izgleda), boje i građe drva koje mu pogoršavaju fizikalna i mehanička svojstva te otežavaju obradu, a dijele se na:

- greške strukture drva: kvрге, zakrivljenost, smolne vrećice kod crnogorice, radijalno pucanje drva
- fizikalne greške: nastale tijekom sušenja i prerade drva, površinske pukotine, iskrivljavanje drva
- greške boje drva
- greške od insekata i gljiva.

Insekti razarači drva, koji propadaju redovima kornjaša, leptira i opnokrilaca, napadaju živa stabla, neobrađena stabla, gotove proizvode od drva i ugrađeno drvo. Drvo im služi kao sklonište ili hrana. Buše hodnike prekidajući vlakanca što smanjuje čvrstoću i trajnost drva. Najveće štete u većini slučajeva čine u stadiju larve ili ličinke. [M. Mikoč, 2006.]

### 3.1.6. Mehanička prerada drva

#### Piljena i tesana građa, furniri, parketi

*Rezana (piljena) građa* dobiva se uzdužnim piljenjem trupaca u pilanama. Prema dimenzijama rezana građa se razvrstava s obzirom na debljinu i odnos širine i debljine. S obzirom na debljinu razlikujemo: listove (5-11 mm), daske (12-47 mm) ili mosnice (iznad 47 mm). Ukoliko je odnos širine i debljine manji od 2 onda se radi o letvicama, letvama, gredicama i gredama. Ako je, prije spomenuti, odnos veći od 2 to podrazumijeva daske i mosnice. Bez daljnje obrade koristi se u svrhu oplata za betoniranje, a uz manju doradu blanjanjem za podove ili za izradu namještaja.

*Tesana građa* dobiva se obradom trupaca tesanjem bradvom paralelno s osi drva. Upotrebljava se za izradu krovnih konstrukcija.

*Furniri* predstavljaju tanke drvene listove debljine 0.3-2 mm, ispiljene, izrezane ili oljuštene od prethodno kuhanog trupca kako bi se što bolje iskoristila tekstura skupocjenih vrsta drva visokih

estetskih svojstava. Posebice je cijenjen javorov, jasenov, orahov i trešnjin furnir a nešto kvalitetniji su furniri egzotičnih vrsta drva kao što su mahagonij i palisander. Furniri se koriste za oblaganje drva manje plemenitih svojstava i za izradu šperploča.

*Parquet* su razmjerno tanki i kratki komadi drva oblanjani s lica i naličja dok sa strane imaju utor kako bi se međusobno povezivali. Izrađuju se od hrastovog, bukovog i jasenovog drva.

#### Šperploče, panel ploče, lesonit ploče

*Šperploče* su vrsta drva čija se izrada sastoji od lijepljenja neparnog broja furnira ljepilom. Nakon lijepljenja podvrgavaju se tlačenju u hidrauličkim prešama. Vlakanca susjednih furnira sijeku se pod pravim kutom te im upravo to omogućuje dobra svojstva.

*Panel ploče* su debljine 2-5 cm te su izrađene od srednjeg sloja tankih ljestvica običnog drva na čijim su krajnjim stranama nalijepljeni furniri finijeg drveta.

*Lesonit* ploče izrađuju se prešanjem drvenih vlakanaca, sa ili bez dodatka veziva.

#### Iverice, drvolit-ploče, drvoterm-kombi ploče

*Iverice* pripadaju skupini drvenih proizvoda načinjenih od sitnih komadića drva, iverja, slijepljenih umjetnom smolom, djelovanjem topline, tlaka, vlage i katalizatora.

*Drvolit-ploče* su jednoslojne izolacijske ploče od cementom povezanih vlakanaca drvene vune. Glavna sirovina za proizvodnju drvolit ploča je drvena vuna koja je posebnim postupkom obrade postigla uvjete teške zapaljivosti. Njezina su vlakna obavijena specijalnim cementnim mortom te samim time povezana u ploče. Otpornost na truljenje, bubrenje, insekte i upijanje vode postiže se zaštitom drvenih vlakana. Njihova šira primjena je za poboljšanje zvučne i toplinske izolacije stropova i zidova. Dimenzije ploča su: 2000 · 500 mm i 1000 · 500 mm. Fizikalno-mehanička svojstva drvolit-ploča prikazana su u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Fizikalno-mehanička svojstva drvolit-ploča (M. Mikoč., 2006.)

Debljina ploče [mm]	25	35	50
Masa $[\frac{kg}{m^2}]$	11.5	14.5	19.5
Toplinski otpor, R $[\frac{m^2}{KW}]$	0.28	0.39	0.56
Čvrstoća na savijanje $[\frac{N}{mm^2}]$	1.0	0.7	0.5
Tlačna čvrstoća $[\frac{N}{mm^2}]$	0.2	0.2	0.15



<b>Srednji koef. apsorpcije zvuka <math>\alpha_s</math>, bez razmaka podloge</b>	0.38	0.48	0.52
--	------	------	------

*Drvoterm-kombi ploče* su troslojne, lake izolacijske ploče s jezgrom načinjenih od vlakana kamene vune okomito usmjerenih, s obje strane obloženih drvolit-pločama debljina 5 mm. U velikoj većini koriste se za poboljšanje zvučne i toplinske izolacije masivnih građevnih konstrukcija. Razlog njihove teške zapaljivosti jest taj što im je jezgra načinjena od negorive vune. Dimenzije u kojima se ploče izrađuju su 2000 · 5000 mm. Fizikalno-mehanička svojstva drvoterm-kombi ploča prikazana su u Tablici 3.3.

Tablica 3.3. Fizikalno-mehanička svojstva drvoterm-kombi ploče (M. Mikoč, 2006.)

Debljina ploče [mm]	50	75	100
Masa [ $\frac{kg}{m^2}$ ]	12.0	14.9	18.0
Debljina slojeva [mm]	5/40/5	5/65/5	5/90/5
Toplinski otpor, R [ $\frac{m^2}{KW}$ ]	0.88	1.44	2.0
Čvrstoća na savijanje [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	0.5	0.4	0.3
Tlačna čvrstoća [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	0.07	0.07	0.07
Srednji koef. apsorpcije zvuka $\alpha_s$	0.52	0.7	0.72
Otpornost na požar s 20 mm žbuke [min]	60	90	90

## 3.2. Metali

Metali su građevni materijali koji imaju dobre električne i toplinske vodljivosti, te metalni sjaj. Mogu se ljevati, zavarivati i oblikovati valjanjem, kovanjem i izvlačenjem. Metali se dijele na: crne (željezo i čelik), obojene (aluminij, bakar, cink, olovo), lagane (aluminij, magnezij, titan, natrij, kalij), teške (bakar, olovo, srebro, zlato).

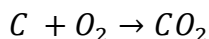
### 3.2.1. Proizvodnja željeza

Kako bi se dobilo željezo, danas se za proizvodnju isključivo koriste oksidne rude: magnetit, hematit, limonit, karbonatna ruda. Dobiva se redukcijom pomoću koksa u visokim pećima. Na vrhu peći, grotlu, nalazi se dvostruko zvono koje omogućuje dodavanje materijala bez izlaska plinova. Rastaljeno željezo i šljaka skupljaju se u bunaru na dnu peći.

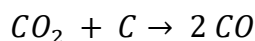
Peć se naizmjenično puni slojem koksa i slojem rude s dodacima. Pored oksida željeza ruda sadrži i onečišćenja, najčešće aluminijeve silikate koji se uklanjaju u obliku šljake dodatkom vapnenca. Proizvodnja visoke peći čija je visina 35-75 m iznosi 1000-1200 t dnevno i da bi se ona ostvarila potrebno je u peć ubaciti oko 2000 t rude, 1000 t koksa, oko 500 t dodataka i oko 5500 t zraka.

Redukcija koksom odvija se prema sljedećim kemijskim jednadžbama (*M. Mikoč., 2006.*):

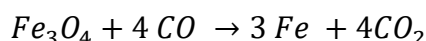
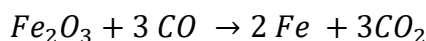
- Pri dnu koks izgara s pregrijanim zrakom do 800 °C dajući ugljikov (IV) oksid CO<sub>2</sub>



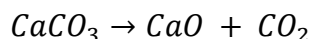
- Reakcijom oslobođeni CO<sub>2</sub> reagira s ugrijanim koksom dajući ugljikov (II) oksid, CO.



- Ugljikov monoksid CO, reducira okside željeza u željezo Fe, a sam se oksidira u CO<sub>2</sub>



- Vapnenac se na temperaturi iznad 900 °C razgrađuje, a nastali kalcijev oksid daje s oksidima silicija i aluminijskim lako taljivu šljaku, kalcijevih alumino silikata koja pliva na rastaljenom željezu štiteći ga od oksidacijskog djelovanja zraka koji se upuhuje u peć.



Kako bi zadržala staklasta reaktivna svojstva, šljaka se naglo hladi ispuštanjem u vodu. Upotrebljava se kao dodatak pri proizvodnji cementa te kao agregat za lagane betone. Njezina gustoća je  $2.6 \frac{kg}{dm^3}$  dok je gustoća sirovog željeza  $7.8 \frac{kg}{dm^3}$ .

Dobiveno sirovo željezo je legura koja osim željeza, sadrži oko 4.5 mas.% slobodnog ili kemijski vezanog ugljika, 1.5% mas. mangana, 1.4 mas.% silicij, 0.3 mas.% fosfora i 0.3. mas.% sumpora. U slučaju da je ugljik u sirovom željezu izlučen u obliku grafita dobije se sivo sirovo željezo, sivog prijeloma. Ukoliko je ugljik kemijski vezanu obliku željeznog karbida, dobijemo bijelo sirovo željezo. Daljnjom preradom sivoga sirovoga željeza dobiva se lijevano željezo koje se koristi za proizvodnju radijatora za centralno grijanje.

Sirovo željezo oblikuje se samo lijevanjem iz razloga jer je krhko i lako se može razbiti. Duljina rada visoke peći zavisi o trajnosti njenog ozida. Dno visoke peći izrađeno je od kvalitetnog

vatrootpornog i armiranog betona te sa izvedbom od ovakvih materijala postiže trajnost 10-15 godina. Za to vrijeme obično se ozid trupa mijenja dva puta. Kako bi se postigla trajnost ozida koja ovisi o radnoj temperaturi, nužno je hlađenje ozida na način da se plašt oblijeva vodom izvana pomoću brizgalica. Debljina ozida ispituje se prometrima ili radioaktivnim pokazivačima. U predjelima nižih temperatura koriste se šamotne opeke. U predjelima viših temperatura koriste se aluminatne opeke s 32-35 % aluminijevog (III) oksida ( $Al_2O_3$ ) dok se u predjelima najviših temperatura koriste one sa 42-44%  $Al_2O_3$ . Ispusti za željezo ( $250 \cdot 500 \text{ mm}^2$ ) i šljaku ( $50 \cdot 65 \text{ mm}^2$ ) zatvaraju se masama od vatrostalne gline pomoću pušaka za zatvaranje dok se pomoću bušilica probijaju. U intervalu od 24 h sirovo željezo ispušta se prosječno 10 puta.

### 3.2.2. Dobivanje čelika

Dobivanje čelika iz sirovog željeza svodi se na smanjenje primjera oksidacijom. Maseni udio ugljika mora se smanjiti za manje od 1.7 mas.%. Smanjenje primjesa oksidacijom, prilikom prerade sirovog željeza u čelik provodi se na dva načina (*M. Mikoč., 2006.*):

- Neposrednim upuhivanjem zraka kroz rastaljeno sirovo željezo u Bessemerovom ili Thomasovom konverteru
- Posrednom oksidacijom kisika iz zraka u Siemens-Martinovim pećima

Kemijski sastav dobivenog čelika je najviše do 1.7 mas.% ugljika, 0.8% mas. mangana, 0.4% mas. silicija, 0.07% mas. fosfora i 0.06 mas.% sumpora. Krajnji rezultat je legura željeza s ugljikom i drugim elementima. Velike je vlačne čvrstoće, žilavosti i tvrdoće. Svojstva čelika ovise o masenom udjelu pojedinih sastojaka: silicija, mangana, kroma, nikla, bakra, sumpora i fosfora.

### 3.2.3. Fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika

Fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika su:

- Naprezanje – deformacija
- Granica razvlačenja, vlačna čvrstoća
- Duktilnost
- Žilavost i tvrdoća

### 3.2.4. Označavanje čelika za armirani beton

Prema normama serije HRN EN 1008-2 do 10080-6 betonski čelici su podijeljeni prema granici razvlačenja  $R_e$  u dva razreda: 450 i 500 i prema duktilnosti u 3 razreda: A, B i C.

Čelici za armirani beton označuju se: velikim slovom B, troznamenkastim brojem (450 i 500) koji označava granicu razvlačenja u  $\frac{N}{mm^2}$  te velikim slovom A, B i C koji predstavljaju razred duktilnosti u %. Razred duktilnosti A predstavlja običnu duktilnost (2.5%), razred B podrazumijeva visoku duktilnost (5.0%) dok je razred C vrlo visoka duktilnost (7.5%). U tablici 3.4. preglednije su prikazana osnovna fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika.

Tablica 3.4. Osnovna fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika (M. Mikoč, 2006.)

Oznaka čelika	B500A	B500B	B450C	B500A	B500B	B450C
<b>Razred duktilnosti</b>	A	B	C	A	B	C
<b>Način isporuke</b>	Kolutovi	Šipke Kolutovi	Šipke Kolutovi	Mreže		
<b>Oblici</b>	Rebrasti Glatki	Rebrasti	Rebrasti	Rebraste		
<b>Promjer d [mm]</b>	4-16	6-40 6-16	6-40 6-16	5-16	6-16	6-16
<b><math>R_e [\frac{N}{mm^2}]</math></b>	500	500	450	500	500	450
<b><math>R_m/R_e</math></b>	1.05	1.08	1.15-1.35	1.05	1.08	1.15-1.35
<b>A [%]</b>	2.5	5.0	7.5	2.5	5.0	7.5

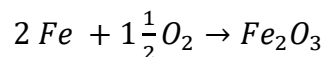
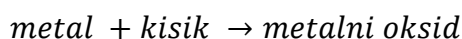
### 3.2.5. Korozijska metala

Korozijska metala prema vrsti reakcija može biti (L. Gotal Dmitrović i dr. 2011):

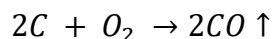
- Kemijska
- Elektrokemijska

Korozijska metala podrazumijeva odnošenje materijala s metalne površine pod utjecajem kemijskog ili elektrokemijskog djelovanja okoline u kojoj se materijal nalazi. Kod elektrokemijske korozijske pod djelovanjem električne struje dolazi do razaranja metala. Do današnjice postignuti su veliki razmjeri gubitaka uslijed korozijske. Od ukupne godišnje proizvodnje,  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{3}$  mase čelika i željezna godišnje podliježe korozijske.

**Kemijska korozija** podrazumijeva kemijski proces između metala i plinovite ili tekuće faze okoliša. Na svim temperaturama metali mogu oksidirati a brzina oksidacije raste s temperaturom. Jedan od jednostavnijih prikaza kemijske korozije oksidacijom je:



Čelik je legura željeza, ugljika i drugih dodataka. Ugljik lakše oksidira od željeza prema jednadžbi:



Nastali ugljikov (II) oksid CO je plinovit te samim time ne nastaje nikakav zaštitni sloj na površini. Difuzijom ugljik napušta unutrašnjost čelika dok površina ostaje, sa smanjenim masenim udjelom ugljika te je mekša od prvobitnog čelika.

**Elektrokemijska korozija** jest elektrokemijski proces prijenosa elektrona između dva metala koji imaju različite potencijale, kroz tekućinu koja služi kao elektrolit (električki vodljiva otopina). Galvanski element čine dva različita povezana metala u elektrolitu te u njemu dolazi do toka električne struje i time se razara manje plemeniti metal. Galvanski element koji prouzrokuje proces korozije ima tri neophodna dijela – anodu, katodu i elektrolit. Anoda je mjesto na kojemu metal korodira, elektrolit je korozivna sredina i katoda je elektroda u galvanskom članku koja ostaje sačuvana u procesu korozije.

Željezo i čelik su konstrukcijski materijali koji se najviše upotrebljavaju i neutralna voda je za njih od velike važnosti. U trenutku kada čelik korodira, stupanj korozije je ovisan o katodnoj reakciji gdje je kisik jedan od značajnijih čimbenika. U neutralnoj vodi otopljene molekule kisika ubrzavaju katodnu reakciju i time povećavaju stupanj korozije proporcionalno broju molekula kisika koje mogu difuzijom doći na katodu. Korozija se povećava s povišenjem temperature u slučaju kada je difuzija kisika kontrolirajući čimbenik. U kiseloj vodi, kada je  $\text{pH} < 4$ , korozija se događa bez prisutnosti kisika.

### 3.2.6. Zaštita metala od korozije

Metal se odvaja od agresivnog okoliša nanošenjem različitih zaštitnih slojeva na metal te se samim time štiti od korozije. Zaštitni slojevi mogu biti metalni i nemetalni. Ukoliko se nanese tanak sloj kroma na čelik dobiva se nehrđajući čelik. Krom prvi otpušta elektrone i nastaju ioni kroma prije nego reagira željezo. U slučaju da je prisutan kisik, on prihvaća nastale elektrone i nastaje tanki sloj krom oksida te on sprečava daljnje reakcije. Zaštita metalnih konstrukcija od

korozije provodi se na način da se konstrukcija premaže crvenim plovim oksidom. Ukoliko se na korozivni metal željezo nanese galvanski tanak sloj još korozivnijeg cinka tada će cink korodirati i služiti kao zaštita željezu. Ovaj se postupak naziva katodna zaštita iz razloga što štice metal željezo postaje katoda u odnosu na anodno aktivniji cink.

### **3.3. Polimerni materijali**

Polimerni materijali su umjetni materijali dobiveni reakcijama polimerizacije, polikondenzacije ili poliadicije iz jednostavnih molekula monomera. Polimeri su dugačke lančaste ili mrežaste molekule, makromolekule, sastavljene od malih jednostavnih molekula monomera. [M. Mikoč, 2006.]

#### **3.3.1. Polimerni materijali dobiveni reakcijom polimerizacije**

Prema M. Mikoč, 2006., polimerizacijom se naziva reakcija međusobnog povezivanja jednostavnih molekula monomera u makromolekule polimera. Proces se odvija uz povišeni tlak, temperaturu i uz prisutnost katalizatora. Monomeri (*grč. mono=jedan, mer=dio*) su male organske molekule s jednom ili više dvostrukih ili trostrukih kovalentnih veza. Kod pojave pucanja jedne od veza u dvostrukoj ili trostrukoj vezi između atoma ugljika, nastale molekule mogu stvoriti dugi lanac vezujući se jedna na drugu. Za razliku od malih monomera, polimeri (*grč. poly=puno, mer=dio*) su velike molekule načinjene od malih molekula monomera spojenih zajedno tvoreći dugi lanac. Pritom, polimeri u lancu mogu biti linearno povezani, razgranati ili poprečno povezani.

Polimerni materijali dobiveni reakcijom polimerizacije su: Polietilen PE, polivinil-klorid PVC, polipropen PP, poliizobuten PIB, polistiren PS.

*Polivinil-klorid (PVC)* koristi se za izradu ploča za pročelja, žljebova, oplata, ploča za prekrivanje podova. PVC cijevi su zamijenile olovne cijevi za dovod i odvod vode iz razloga što su jeftinije, lakše i kemijski inertne. Također, kod polimera se pojavljuje zamjena atoma vodika sa kratkim ugljikovim lancima ili prstenovima. Glavni lanac se pravilno grana. U graditeljstvu, neki od važnih primjera su: polipropilen (PP), poli-izobutilen (PIB) i polistiren (PS). Polipropilen se koristi za izradu cijevi, posuda i vlakana. Poli-izobutilen se koristi za izradu folija i ljepila. Polistiren se koristi za izradu različitih građevnih elemenata. Ispunjen zrakom, ekspanzirani polistiren (EPS) pogodan je za toplinske i zvučne izolacije. Polietilen pripada kategoriji običnih

plastičnih masa, lagan je te jeftin za proizvodnju. Postoji tvrdi i meki polietilen. Meke se koristi u obliku folija za vodoizolacije, vreća za otpad, boca.

### 3.3.2. Polimerni materijali dobiveni reakcijom poliadicije

Poliadicijom se vežu jedna s drugom aktivne grupe koje su ostale nakon polimerizacije. Ukoliko se grupe koje su aktivne povezuju linearno tada nastaju polimeri s dugačkim vlaknima – termoplasti. U slučaju da se aktivne grupe povezuju umrežavanjem – nastaju duroplasti. Poliuretani (PUR) se upotrebljavaju kao premazi, boje, pjeno-materijali za toplinsku i zvučnu izolaciju i sanitarnu opremu. [M. Mikoč, 2006.]

### 3.3.3. Podjela polimernih materijala

*Elastomeri* su elastični pri temperaturama uobičajene primjene. Nalaze se u gumastom fizikalnom stanju te im to omogućuje elastične deformacije i do nekoliko stotina postotaka. Izrađeni su od rahlo umreženih polimernih lanaca koji su obično poprečno povezani kovalentnom vezom. Ovaj se proces poprečnog povezivanja molekula elastomera naziva vulkanizacija. Poprečno povezivanje može biti potaknuto toplinom, svjetlom ili adicijom kemikalija. Poprečno povezivanje čini elastomere elastičnim. Kod pojave povišenih temperatura omekšavaju se no ne tale se. Gume i kaučuci su karakteristični predstavnici elastomera.

*Plastomeri (termoplasti)* kada su zagrijani do temperature omekšavanja, postaju plastični i prikladni za obradu istiskivanjem i prskanjem, dok hlađenjem prelaze u čvrsto stanje. Zagrijavanje i hlađenje može se ponavljati bez bitnih promjena osnovnih svojstava. Mogu biti u kristalnom ili amorfnom fizikalnom stanju. Fizikalno-mehanička svojstva određuje im omjer udjela kristalnog dijela prema amorfnom dijelu. Gustoću, tvrdoću i čvrstoću povećava veći maseni udio kristalnog dijela dok obradivost povećava veći udio amorfnog dijela. [M. Mikoč, 2006.]

*Duroplasti* su gusto umreženi polimeri koji su u čvrstom stanju na temperaturi uobičajene primjene. Povišenjem temperature ne omekšavaju i ne tale se nego nepovratno otvrdnu te se više ne mogu oblikovati. Građa im je kristalna ili staklasta. Dobivaju se u dva stupnja - prvi stupanj karakterizika nastanak reaktivne viskozne smole koja u drugom stupnju miješanjem s učvršćivačem prelazi u trodimenzionalan gusto umreženi polimer velike čvrstoće. Duroplasti nose još i naziv umjetne smole iz razloga jer su u prvom stupnju dobivanja u smolastom viskozom stanju.

### 3.3.4. Složeni polimerni materijali

Prema M. Mikoč, 2006., polimerni materijali se, u mnogim primjenama, miješaju s različitim odacima, armaturama i punilima. Na taj se način dobiju složeni (kompozitni) polimerni materijali kojima osnovu čini polimer. U svrhu punila upotrebljavaju se prašina vapnenca, dolomita, kvarca, barita i amorfnja prašina. Armature se dodaju polimernim materijalima u velikim masenim postotcima 50 do 80%, te time bitno mijenjaju mehanička svojstva takvih polimernih proizvoda. Osnovu armature čine vlakna što je omogućilo upotrebu poliesterskih smola kao konstrukcijskog materijala (cijevi, silosi, čamci). Pored staklenih, upotrebljavaju se i druga vlakna: ugljična (karbonska), grafitna, kremena, metalna i vlakna umjetnih polimera. Osim punila i armatura, polimernim materijalima se dodaju i razni dodaci (aditivi). Neki od aditiva su: toplinski izolatori, pigmenti, dodaci za smanjenje zapaljivosti i gorivosti – pomoću njih se mijenjaju fizikalno-mehanička svojstva polimera.

### 3.3.5. Fizikalno-mehanička svojstva polimera

U fizikalno mehanička svojstva polimera ubrajaju se gustoća, vlačna čvrstoća, toplinski koeficijent širenja, toplinski koeficijent vodljivosti, otrovnost, kemijska otpornost i postojanost.

*Gustoća* polimera je od 900-1200  $\frac{kg}{m^3}$  iz razloga jer su molekule polimera građene od lakših elemenata za razliku od drugih građevnih materijala. *Gustoća* polietilena iznosi 920-960  $\frac{kg}{m^3}$ , a PVC-a 1200-1400  $\frac{kg}{m^3}$ . S obzirom da su neekspandirani polimeri praktički bez pora, njihova je *gustoća* jednaka obujamskoj *gustoći*. *Punilima* i *dodacima* *gustoća* polimera se povećava s 1000 na 2000  $\frac{kg}{m^3}$  i više.

*Vlačna čvrstoća* nekog polietilena iznosi 8-10 MPa, tvrdog 20-30 MPa, a PVC-a 50-65 MPa. Do smanjenja vlačne čvrstoće dolazi tijelom dugotrajnih opterećenja kod svih polimernih materijala.

*Koeficijent toplinskog širenja*  $\alpha_T$  čistih polimera je 5-20 puta veći nego što je to slučaj za čelik i beton. *Koeficijent toplinskog širenja* mekog polietilena iznosi  $13 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ , tvrdog  $23 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ , a PVC-a 7 do  $8 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ . *Toplinski koeficijent širenja* znatno se smiruje putem ispunja, armiranja i različitih materijala.

*Toplinski koeficijent vodljivosti*  $\lambda_T$  za čiste polimere je malen i približno jednake veličine kao za drvo, dok su za kompozite s ispunom i armiranjem približno isti kao za beton. *Toplinski*



koeficijent vodljivosti nekog polietilena iznosi  $0.38-0.57 \frac{W}{mK}$ , tvrdog  $0.33-0.36 \frac{W}{mK}$ , a PVC-a  $0.14-0.17 \frac{W}{mK}$ . Veliki broj polimernih materijala može se raširiti - ekspanirati, pjeniti. Mala toplinska vodljivost postiže se ukoliko je maseni udio zraka velik a obujamska gustoća mala.

*Kemijska otpornost* polimernih materijala prema većini agresivnih tvari, voda, slabe kiseline i lužine iznimno je velika u odnosu na ostale građevne materijale. Ovo je razlog zbog kojeg se oni upotrebljavaju kao zaštitni materijal za građevne elemente kao što su beton, opeka i mort. Polimerni materijali, osim mekanog PVC-a, otporni su na djelovanje bakterija, gljiva, insekata i glodavaca. [M. Mikoč, 2006.]

*Otrovnost* se javlja kod proizvodnje monomera ili uslijed nepotpunog očvršćivanja gdje oni mogu ispariti i izazvati nadražaje dišnih organa te štetne promjene na koži. Za razliku od monomera, očvršnuli polimeri su neaktivni.

### 3.3.6. Polimer beton, PB

PB je kompozitni materijal u kojem je agregat povezan pomoću polimernog veziva. Najčešće upotrebljavana polimerna veziva su reaktivne smole: poliesterske (UP), epoksi (EP), poliuretanske (PUR). Omjeri agregata i reaktivne smole mogu se mijenjati maseno u širokim granicama od 1:1 do 15:1. U svrhu agregata upotrebljavaju se čisti kvarcni, granitni ili vapnenački agregati dobrog granulometrijskog sastava. Glavna svojstva polimernih betona su: brzo očvršćivanje, velika vlačna, tlačna i čvrstoća savijanja, otpornost na smrzavanje, mala vodopropusnost i plinopropusnost, dobra kemijska otpornost. Koriste se za zaštitu slojeva na površinama izloženim stalnoj eroziji, popravak betonskih konstrukcija te za izradu ukrasnih panel ploča. [M. Mikoč, 2006.]

### 3.3.7. Ekspanirani polistiren (EPS), stiropor

Postupak proizvodnje EPS-a odvija se u 3 stupnja. U prvom stupnju se zrnca polistirena zaštićena pentanom, kratkotrajnim grijanjem pomoću vodene pare pred-ekspaniraju povećavajući svoj obujam 20-40 puta, uz smanjenje gustoće sa oko  $600 \frac{kg}{m^3}$  na  $15$  do  $30 \frac{kg}{m^3}$ . U drugom stupnju se pred-ekspanirana zrnca prenose u paro-propusne silose gdje dozrijevaju 6-20 sati. U trećem stupnju dodaju se zrnca u zatvorene metalne kalupe obujma  $4-5 m^3$  gdje uz djelovanje suhe zasićene pare dolazi do konačnog širenja zrnaca koja se međusobno slijepe u čvrst materijal te se režu u ploče pomoću vruće žice. Fizikalno-mehanička svojstva EPS-a su: odličan toplinski

izolator, mala masa, dobre konstrukcijske karakteristike, jednostavna ugradnja, neškodljiv za okoliš. Ovaj se proizvod pod zaštićenim imenom *stiropor* počeo proizvoditi godine 1954., u njemačkom komisijskom koncernu BASF. Od početka proizvodnje pa sve do danas, graditeljstvo je dobilo veoma pouzdan materijal za toplinsku izolaciju.

### 3.4. Beton

Beton je kompozitni građevinski materijal dobiven mješavinom agregata (ispune), veziva, vode, zraka i dodatka. Dijeli se prema sastavu (cementni, asfaltni, polimer betoni), obujamskoj gustoći (težak, običan, lagan) te prema konzistenciji (krut, slabo plastičan, plastičan, tekući).

**Cementni betoni** su mješavina cementa, agregata, vode, zraka i specijalnih dodataka. Dobivaju se uporabom hidrauličnog veziva, cementa. Kvaliteta ovih betona ovisi o razredu, masenom udjelu i vrsti cementa, čistoći i masenom udjelu vode, masenom udjelu specijalnih dodataka, načinu izrade, ugradnje i njege. Aditivi, odnosno dodaci jesu tvari za poboljšanje ili mijenjanje svojstava svježeg i očvrnulog betona. Nastaju kao posljedica težnje građevinara da se napravi čvrst ali i jeftiniji građevinski materijal koji će omogućiti bržu i jeftiniju gradnju uz prihvatljivi vijek trajanja građevine.

**Asfalt betoni** mješavina umjetnih smola i agregata. Dobivaju se uporabom organskih veziva katrana i bitumena.

#### 3.4.1. Svježi beton

Svježi cementni beton jest mješavina cementa, vode, zraka agregata i aditiva dok kemijski procesi između cementa i vode nisu počeli. Za vrijeme miješanja i otpreme betona, obujamski udio zraka je promjenjiv. Na konačnu vrijednost se smanji tek nakon završenog zbijanja. Sastav ovog betona može se odrediti izrazom [M. Mikoč, 2006.]:

$$V_b = V_a + V_c + V_v + V_z + V_d$$

Gdje je: V – obujam, indeksi: b (beton), a (agregat u vodom zasićenom, površinski suhom stanju), c (cement), v (voda), z (zrak), d (dodatak).

U pravilu, udio aditiva u ukupnom obujmu je neznatan iz razloga jer se u malim masenim udjelima dodaju betonima. Iznimku čine oni aditivi koji se u većim masenim udjelima dodaju betonima.

Kako bi se precizno izračunala svojstva betona potrebno je imati u vidu kako su čestice agregata sitnije od 0.125 mm istog reda veličine kao i čestice cementa te iz treba smatrati primjesom cementu – ne agregatom u pravom smislu. Vezivo u svježem betonu čine mješavine čestica agregata sitnijih od 0.125 mm te sve čestice cementa. Šupljine između krutih čestica ispunjene su mješavinom vode i zraka a takva se mješavina u betonu ponaša slično kao i voda te se iz tog razloga smatra jedinstvenom mješavinom obujamskog udjela u. Ovime se broj veličina smanjuje na tri što pojednostavljuje prikazivanje. Ukoliko se pretpostavi da je  $V_b = 1 \text{ m}^3$  i gore navedena jednadžba podijeli s  $V_b$ , tada jednadžba poprima oblik (M. Mikoč, 2006.):

$$V_a + V_{cv} + u = 1$$

Gdje je: V- obujamski dio sastojka, indeksi: a (agregat), cv (vezivo), u ( $V_v + V_z$ ).

Zrak, vezivo i voda tvore pastu koja popunjava šupljine između zrna agregata. Obujamski udjeli agregata i paste nakon očvršćivanja ostaju isti kao i u svježem betoni, no struktura paste se znatno mijenja. Dio vode veže cement dok dio ispari i ostavlja u betonu pore i šupljine ispunjene zrakom.

### 3.4.2. Ispitivanje kvalitete svježeg betona

Prema M. Mikoč, 2006, beton treba zadovoljiti 2 osnovna zahtjeva:

1. **U svježem stanju mora biti dovoljno gibljiv i podatljiv, da bi mogao ispuniti sav prostor u kalupu**
2. **U očvrslom stanju mora imati tražena fizikalno-mehanička svojstva**

Oba su zahtjeva podjednako bitna za kvalitetu betonske konstrukcije. Tečenje betona je najznačajnija pojava u svim fazama proizvodnje svježeg betona. Iz tog se razloga može odrediti obradivost određujući veličine tečenja uzorka svježeg betona jer ista uzrokuje preoblikovanje uzorka. Preoblikovanje i tečenje uzorka svježeg betona može se najjednostavnije odrediti mjerenjem promjena dimenzija i oblika uzorka pod utjecajem vanjskih sila. Na ovaj način određeno svojstvo naziva se konzistencija.

Svježi beton ispituje se prema normama HRN EN 12350-1 – HRN EN 12350-7.

*Uzorkovanje*, prema normama razlikuju se ove vrste uzoraka:

- Serija predstavlja masu svježeg betona te je izmiješana u jednom procesu rada miješalice
- Pojedinačni uzorak označava masu betona uzetu jednom radnjom lopatice za uzimanje uzoraka

- Složeni uzorak je masa betona sastavljena od više pojedinačnih uzoraka koji su zajedno dobro izmiješani

*Metodu slijeganja* propisuje norma za određivanje konzistencije svježeg betona. Ova metoda se može primijeniti na bilo kojem mjestu na gradilištu upravo zbog svoje jednostavnosti. Ukoliko je najkrupnija zrno u agregatu veće od 40 mm tada ova metoda nije pogodna. Proces ispitivanja slijeganjem vrši se na način da se beton unosi simetrično u Abramsov kalup oblika krnjeg stošca u 3 sloja. Zatim se šipkom za zbijanje svaki sloj zbijе s 25 zbijanja. Kod zbijanja prvog sloja, podloga za ispitivanje ne smije upijati vodu i šipka ne smije udariti u podlogu. Svaki slijedeći sloj, šipka mora malo ulaziti u prethodni sloj. Na kraju se površina betona poravna, kalup uspravno izvuče te se izmjeri slijeganje  $S$  u cm. Kada se kalup odstrani, visina uzorka se smanji i povećaju se njegove dimenzije u poprečnom smjeru.

Spomenuta norma propisuje metodu za određivanje konzistencije svježeg betona određivanjem *stupnja zbijenosti*. Ova metoda nije primjenjiva na beton ukoliko najveće zrno prelazi 63 mm. Ukoliko je stupanj zbijenosti manji od 1.04 ili veći od 1.46 tada beton ima konzistenciju za koju je stupanj zbijenosti neprikladan. Proces stupnja zbijenosti izvodi se na način da se pažljivo napuni posuda, osnovice  $200 \cdot 200$  mm visine 400 mm, sa svježim betonom. U trenutku kada je posuda puna, gornja površina se poravna te se beton zbijа na stolu za potresanje ili sa vibratorom do trenutka kada se više ne može odrediti smanjenje obujma. Za određivanje stupnja zbijenosti koristi se udaljenost od površine zbijenog betona do gornjeg vrha posude.

### **3.4.3. Reologija svježeg betona**

Reologija (grč. rheo – teći) svježeg betona se bavi proučavanjem ponašanja betona u svježem stanju. Među česticama svježeg betona djeluju sile različitog podrijetla i veličine. Važno je poznavati spomenute sile radi lakšeg razumijevanja ponašanja svježeg i očvrnulog betona kao i za razumijevanje mehanizma djelovanja aditiva na beton. Postoje Van der Waalsove privlačne sile koje djeluju između čestica ukoliko su čestice u direktnom kontaktu, okružene suhim zrakom. Ove sile uzrokuju tlak reda veličine do 30 MPa na dodirnoj ploštini. [M. Mikoč, 2006.]

Ukoliko se čestice urone u vodu, svaka od njih okružena je s nekoliko slojeva molekula vode. Prvi sloj molekula je najčvršće vezan adhezijskim silama za površinu čestica. Veza je labavija za svaki sljedeći sloj. Iako više nema direktnog dodira među česticama, dodiruju se samo slojevi molekula vode, Van der Waalsove sile još su uvijek jake i mogu zgnječiti sloj molekula vode na mjestu prijašnjeg kontakta. Čestice se u vodi lakše gibaju nego u zraku zbog sloja molekula vode.

Među sitnim česticama zaostaje zrak iz razloga jer se one ne mogu lako pomiješati s vodom. U takvim sitnim mjehurićima između čestica djeluju kapilarne sile i time nastaje vlak u vodi oko mjesta zarobljenog zraka. Susjedne čestice dodatno se privlače zbog tlaka u vodi te to pojačava djelovanje Van der Waalsovih sila.

#### **3.4.4. Vanjski utjecaji na ugrađeni beton**

Hidratacija cementa odvija se ukoliko beton sadrži vlagu koja je potrebna za proces. Iz tog se razloga propisuje održavanje vlažnosti betona najmanje 7 dana nakon ugradnje. Pažnju valja posvetiti održavanju vlažnosti betona tijekom prva 24 h. Ukoliko se pravila ne poštuju, može doći do isušavanja površine i nepotpunog vezanja cementa. Tlačna čvrstoća betona koji je zasićen vodom raste vrlo dugo.

Prema M. Mikoč, 2006., pojam uvjetne čvrstoće podrazumijeva vrijednost koju je postigao beton održavan na temperaturi od 20°C nakon 28 dana. Najveći prirast čvrstoća može se postići održavanjem temperature betona na 55°C tijekom prva 24 h te prvih nekoliko dana. Ako se temperatura poveća preko 55°C ne postiže se povećanje prirasta čvrstoća tijekom prvih nekoliko dana već su konačne čvrstoće znatno snižene. Beton postiže najveću konačnu čvrstoću ukoliko se stalno čuva na temperaturi od 13°C. Granicom niske temperature betona smatra se temperatura od 5°C. pri toj temperaturi prirast čvrstoće betona u prvim danima veoma je usporen dok su čvrstoće nakon 28 dana znatno niže.

U visokogradnji kod primjene moderne katne čelične oplata iziskuje se da beton, za manje od 24h nakon ugradnje, postigne takvu čvrstoću kako bi se oplata mogla skinuti i ponovno upotrijebiti. Ovaj se uvjet može postići zagrijavanjem betona zaparivanjem kroz 12 i više sati uz održavanje temperature između 45-55°C. Pri betoniranju masivnih konstrukcija, zbog topline hidratacije, temperatura u središtu betonske mase može porasti iznad 55°C zajedno sa negativnim posljedicama (unutarnja naprezanja, nastajanje pukotina, sniženje konačne čvrstoće betona). Kako bi se izbjeglo povećanje temperature potrebno je upotrijebiti cement niske topline hidratacije, betonirati u slojevima, intenzivno polijevati ugrađeni beton sa hladnom vodom. Betoniranje sljedećeg sloja moguće je tek kada se svi prethodno ugrađeni slojevi dovoljno ohlade.

Zagrijavanjem vode te dodacima za zimsko betoniranje može se provoditi betoniranje na niskim temperaturama. Čvrstoća betona raste sporo i potrebno je beton dugo držati u oplati ukoliko je temperatura betona, za vrijeme očvršćivanja, niža od 5°C. U slučaju da se voda smrzne, potpuno se zaustavlja proces vezanja. Nakon odmrzavanja, prirast čvrstoće je neznatan i prethodno ugrađeni beton je potrebno odstraniti.

## 4. Ekološke prednosti materijala i cijene

Zaštita građevinske baštine spada u zaštitu okoliša. Pri bilo kakvom projektiranju, izvođenju, gradnji, glavni cilj je sačuvati okoliš. Primjerice, u starijem naselju, gdje su stambene građevine starije od 100 g., nije prikladno izgraditi izgledom moderan objekt.

Priroda oduvijek pogoduje izvorima koje čovjek u današnje vrijeme, slabije koristi. Korištenje tehnologije mora biti u skladu s očuvanjem okoliša.

Materijal koji je također, od davnina poznati kao jedan od glavnih građevinskih materijala jest drvo. U prirodi je u velikim količinama te je njegova uporaba u graditeljstvu povećana. Korištenje drva kao materijala može značajno smanjit opterećenje okoliša otpadom. Prilikom korištenja, prethode brojni procesi, no najbitnije je pravilno rukovoditi sa sječom, te preradom kako bi nastajalo što manje otpada. Međutim, čak i otpadni drveni materijal može se oporabiti.

Drvo je, pored odlične estetike, dobar prirodni izolator. Lagano je, sigurno, veoma otporno i izdržljivo za prihvatljiva opterećenja. Jednostavno se obrađuje, te ih je moguće obrađivati u mnoge svrhe.

Sa metalom može se poistovjetiti i recikliranje, što je jedna od boljih karakteristika. Korištenje otpadnog metala štede se značajne količine energije te se smanjuje onečišćenje od proizvodnje novih materijala. Prerada metala veoma je razvijena i gospodarski snažna djelatnost. Industrije unaprjeđuju spomenute proizvodne procese te time omogućuju smanjenje emisije ugljikovog (IV) oksida (CO<sub>2</sub>).

Polimeri se u graditeljstvu primjenjuju već 40-ak godina. Koriste se kao zaštitni premazi, završni slojevi poda, kao izolacijski materijali, dodaci betonima, bojama. Njihov udio u ovoj struci je 25%. Prednosti ovakve velike primjene su lagano oblikovanje, otpornost na kemijske utjecaje, dobra elektroizolacijska svojstva, paronepropusnost, vodonepropusnost, dobra prionjivost na druge materijale.

Godišnje količine materijala koje se koriste u graditeljstvu, kao i njihova cijena prikazane su u tablici 4.1. Materijali su poredani prema ekološkim karakteristikama. Znači, daleko ekološki najprihvatljiviji materijal je drvo, slijede beton i željezo, te PVC.

Tablica 4.1. Korištenje materijala

Materijal	Cijena	Korištenje [za 2016.g.]
<b>Drvo</b>	800 kn/m <sup>3</sup>	45 000 m <sup>3</sup>
<b>Beton</b>	350 kn/m <sup>3</sup>	4 500 000 m <sup>3</sup>
<b>Željezo</b>	47 244 kn/m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>
<b>PVC</b>	600 kn/m <sup>3</sup>	2 127 660 m <sup>3</sup>

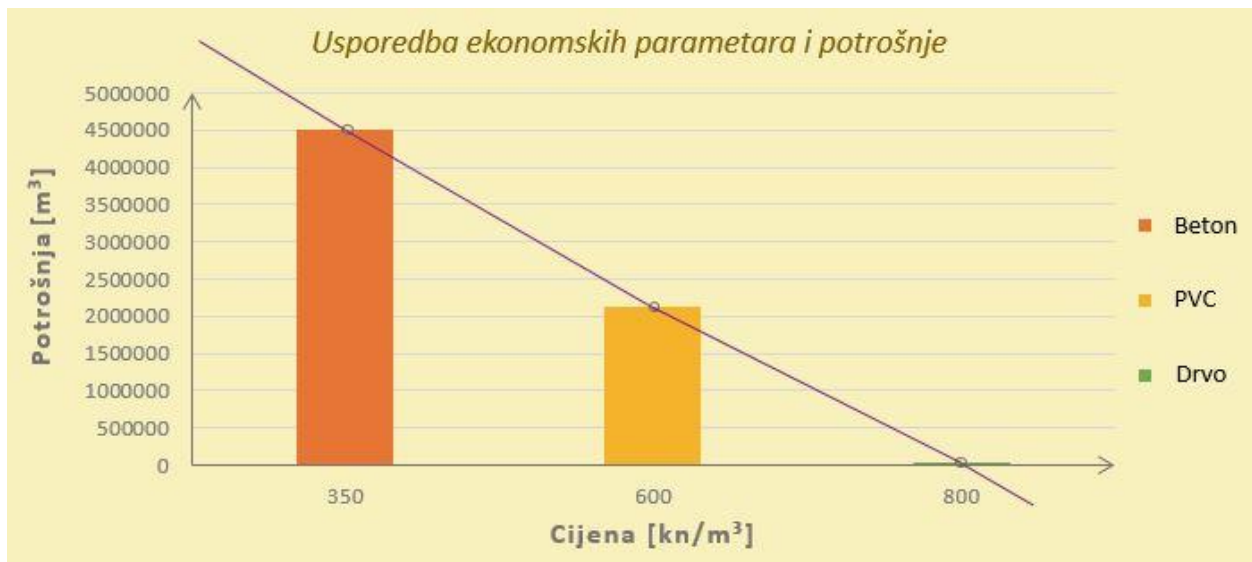
Željezo se može koristiti prvenstveno za preuzimanje vlačnog naprezanja u armiranom betonu. Kao samostalni građevni materijal se ne koristi, te se neće razmatrati u nastavku.

Uspoređujući ekološke karakteristike drva, betona i PVC, drvo ima daleko najveće prednosti te jedino spada u prirodne građevinske materijale. Na slici 4.1. dan je grafički prikaz usporedbe ekoloških i ekonomskih parametara navedenih građevinskih materijala.



Slika 4.1. Usporedba ekoloških i ekonomskih parametara

Na slici 4.1. vidljivo je da su cijene ekološki prihvatljivijih materijala više. Ako se napravi usporedba potrošnje prema cijeni (slika 4.2.) vidljivo je da su još uvijek ekonomski parametri važniji prilikom donošenja odluka od ekoloških parametara.



Slika 4.2. Usporedba ekonomskih parametara i potrošnje

Pomoću koeficijenta korelacije ispitana je povezanost cijene (ekonomskog faktora) i količine koja se upotrebljava u graditeljstvu (Tablica 4.2.). Izračunati su Pearsonov i Spearmanov koeficijent korelacije. Oba koeficijenta su pokazala da između cijene i količine korištenja postoji čvrsta korelacija, odnosno da ekonomski faktor jako utječe na izbor materijala.

Tablica 4.2. Koeficijenti korelacije korištenja i ekonomskog faktora

Materijal	Cijena [kn/m <sup>3</sup> ]	Korištenje [m <sup>3</sup> /g.]	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	d <sub>i</sub>	d <sub>i</sub> <sup>2</sup>
Drvo	800	45000	1	3	-2	4
Beton	350	4500000	3	1	2	4
PVC	600	2127660	2	2	0	0
					Σ	8
Pearsonov koef. korelacije		<b>-0,999647875</b>	Spearmanov koeficijent korelacije		<b>-1</b>	
Čvrsta korelacija			Čvrsta korelacija			

Isti postupak je ponovljen za usporedbu ekološkog faktora i količine (Tablica 4.3.).

Tablica 4.2. Koeficijenti korelacije korištenja i ekološkog faktora

Materijal	Ekološki faktor (rangiran)	Korištenje [m <sup>3</sup> /g.]	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	D <sub>i</sub>	d <sub>i</sub> <sup>2</sup>
Drvo	1	45000	3	3	0	0
Beton	2	4500000	2	1	1	1
PVC	3	2127660	3	2	1	1
					Σ	2
Pearsonov koef. korelacije		<b>0,467159135</b>	Spearmanov koeficijent korelacije		<b>0,5</b>	
slaba korelacija			korelacija srednje jačine			



## 5. Zaključak

Od samih početaka pa sve do danas, građevinski materijali zadržali su bitna svojstva i sirovine. Svakidašnjim unapređenjem tehnologije, mnogi od proizvodnih procesa iziskuju uporabu novih metoda, građevinskih alata, uređaja te, na kraju krajeva, robota. Spomenuvši karakteristike materijala te krajnji rezultat upotrebe, zaključuje se kako cijena ovisi o načinu proizvodnje te da se umjetno stvorena gradiva svakodnevno sve više proizvode.

Ljudski rad zahtjeva viša novčana primanja, dok primjerice, roboti ili drugi uređaji, ne zahtijevaju iste uvjete kao čovjek te količinski izrade puno više proizvoda za kraći vremenski period. Vrijedi se zapitati težimo li tome da očuvamo okoliš i prirodne resurse ili je cilj samo napredovati u tehnologiji, bilo da je u pitanju očuvanje okoliša ili život čovjeka. Ukoliko je odluka na očuvanju okoliša, cijena proizvoda će uvijek biti veća, što je i prihvatljivo, jer može doći do nedostatka prirodnih materijala. No ako je cilj napredovati u tehnologiji, tada će ljudski fizički rad biti itekako smanjen te upravo to može dovesti do drugih problema u društvu (viša stopa nezaposlenosti, neimaština, viša stopa mortalitet).

Pored vrijednosti i kvalitete, nikako se ne smije zanemariti vijek trajanja građevinskih materijala. Primjerice, metali su trajni, podnose velike temperature no u usporedbi sa drvom, koje je prirodni materijal te u sebi uvijek sadrži svojstva pogodna za okoliš i ljudsku populaciju, umjetno stvoreni materijali nikako se ne smiju svrstavati u istu kategoriju. Prerada drva iziskuje dulji vremenski period proizvodnje, jedinstveno je te samim time skuplje. Ostali spomenuti materijali mogu se proizvesti u milijunima primjeraka i time im pada cijena.

Iz navedenih primjera i danih vrijednosti može se zaključiti kako povećana cijena daje rezultat manje prodaje i obrnuto. Ekološki parametri su manje važni kod izbora materijala. Osvrnemo li se na poslovanje, na temelju provedene analize, točnije pravca regresije može se predvidjeti daljnje poslovanje odnosno prodaja.

## 6. Literatura

### *Knjige:*

L. Gotal Dmitrović, P. Tepeš, M. Milković: Kemija u graditeljstvu, VELV, 2011.

D. Keček, D. Modrić, M. Stojić: Vjerojatnost i statistika, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin 2012.

Miroslav Mikoč: Građevni materijali, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet, Osijek 2006.

Ivan Šošić: Primijenjena statistika, 2. izmijenjeno izdanje, Zagreb 2006.

### *Internet izvori:*

<http://www.biochemia-medica.com/content/s-treba-znati-kada-izracunavamo-koeficijent-korelacije> dostupno 02.09.2017.

<http://e-gfos.gfos.hr/app/storage/protected/42-09-06-2017-11-26-26-doksanovic-farkas-njegovanovic.pdf> dostupno 02.09.2017.

S. Mikulić, 2009., [http://ss-ekonomsko-birotehnicka-st.skole.hr/upload/ss-ekonomsko-birotehnicka-st/images/static3/1035/File/PRILOG%202\\_5.pdf](http://ss-ekonomsko-birotehnicka-st.skole.hr/upload/ss-ekonomsko-birotehnicka-st/images/static3/1035/File/PRILOG%202_5.pdf) ) dostupno 02.09.2017.

A. Vinković Kravaica, 2017, *Veleučilišta u Rijeci*,

[https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_poduzetnistvo\\_s1/Kvantitativne\\_za\\_poduzetnike\\_Pr2\\_Izv.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf) ) dostupno 02.09.2017.

## **Popis slika**

Slika 2.1. Primjeri korelacijske analize

Slika 2.2. Primjer regresijske analize

Slika 2.3. Vertikalna odstupanja od pravca regresije

Slika 4.1. Usporedba ekoloških i ekonomskih parametara

Slika 4.2. Usporedba ekonomskih parametara i potrošnje

## **Popis tablica**

Tablica 2.1. Odnos apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije i korelacije

Tablica 3.1. Vremenska trajnost pojedinih vrsta drva

Tablica 3.2. Fizikalno-mehanička svojstva drvolit-ploča

Tablica 3.3. Fizikalno-mehanička svojstva drvoterm-kombi ploče

Tablica 3.4. Osnovna fizikalno-mehanička svojstva betonskih čelika

Tablica 4.1. Korištenje materijala

Tablica 4.2. Koeficijenti korelacije korištenja i ekonomskog faktora

Tablica 4.3. Koeficijenti korelacije korištenja i ekološkog faktora