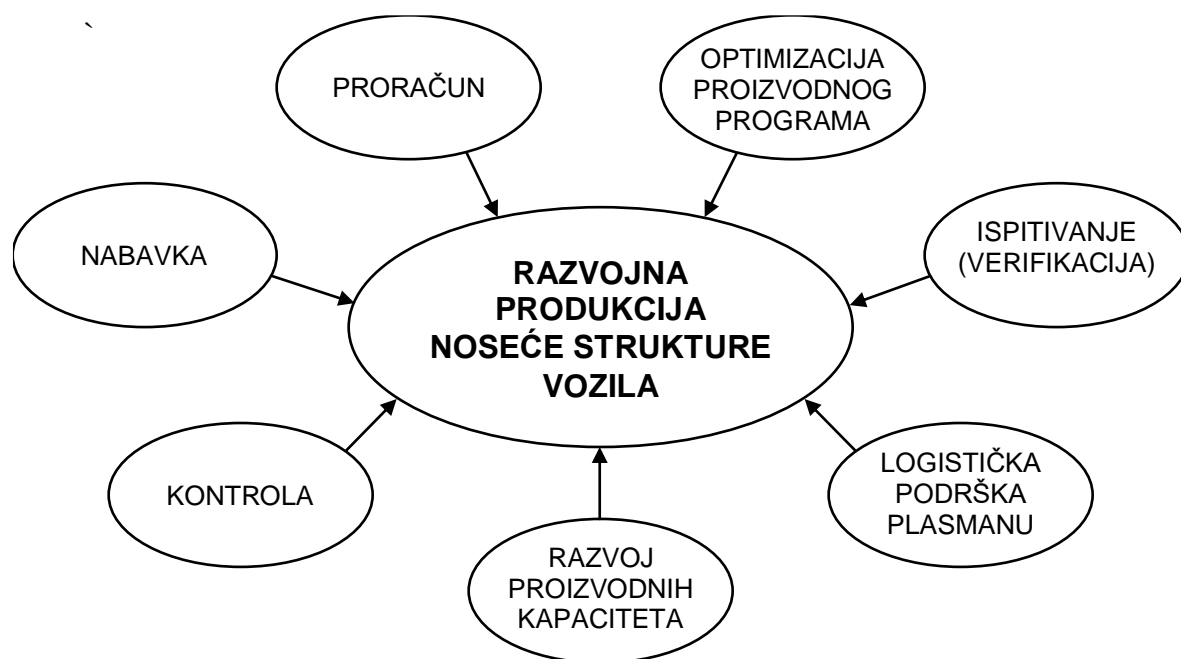


## Identifikacija ponašanja NS

Identifikacija stanja i ponašanja NS je pretpostavka za njen kvalitetan i efikasan razvoj, odnosno produkciju. Predstavlja **skup aktivnosti** kao što su proračun, optimizacija, ispitivanje i verifikacija, provera saobraznosti sa aktuelnom regulativom, praćenje stanja i ponašanja, održavanje, ..., što je ilustrativno predstavljeno blok dijagramom na slici 1. Sa slike 1 je očigledna zastupljenost principa simultanog inženjeringa (**SE**), odnosno sveukupnog frontalnog prilaza, a ne aktivnost po aktivnost (odnosno njihova realizacija korak po korak).



Slika 1

Načelni prikaz na slici 1 nema za cilj da taksativno navede sve uticajne činioce, što je nemoguće na opštem nivou, jer specifikacija uticajnih činilaca zavisi od kategorije vozila, primenjenih materijala i sl. Cilj je bio predstavljanje sveukupnosti predmetne problematike i **pozicioniranje dva dominantna aspekta** kojima će se posvetiti posebna pažnja u okviru ovog kursa, a to su ispitivanje i proračun NS.

Tretirajući problematiku ispitivanja, može se konstatovati da je razvoj vozila praćen stalnim aktivnostima u ovom pogledu, koja nazivamo **razvojnim ispitivanjima**. Njihov glavni cilj je pružanje informacije konstruktorima o efektima izvedenog rešenja u pogledu funkcionalnosti, pouzdanosti, zadovoljenju traženih kriterijuma i sl. Ona su neophodna dopuna postupka projektovanja i proračuna vozila, a sve sa ciljem uspešnog i ekonomičnog razvoja. Posebnu grupu razvojnih ispitivanja predstavljaju **ispitivanja prototipova**. Ona pružaju mogućnosti kako laboratorijskih provera tako i proba vozila u celini u uobičajenim eksploatacionim, ali i oštrijim režimima. Početkom proizvodnje potreba za daljim ispitivanjima ne prestaje. Dalja ispitivanja su sa ciljem verifikovanja primenjenih tehnologija i postupaka proizvodnje, praćenja dostignutog kvaliteta proizvodnje kao i poboljšanja u proizvodnji. **Ispitivanja se razvrstavaju na niz načina, saglasno mestu gde se obavljaju, nameni, cilju i drugim parametrima.**

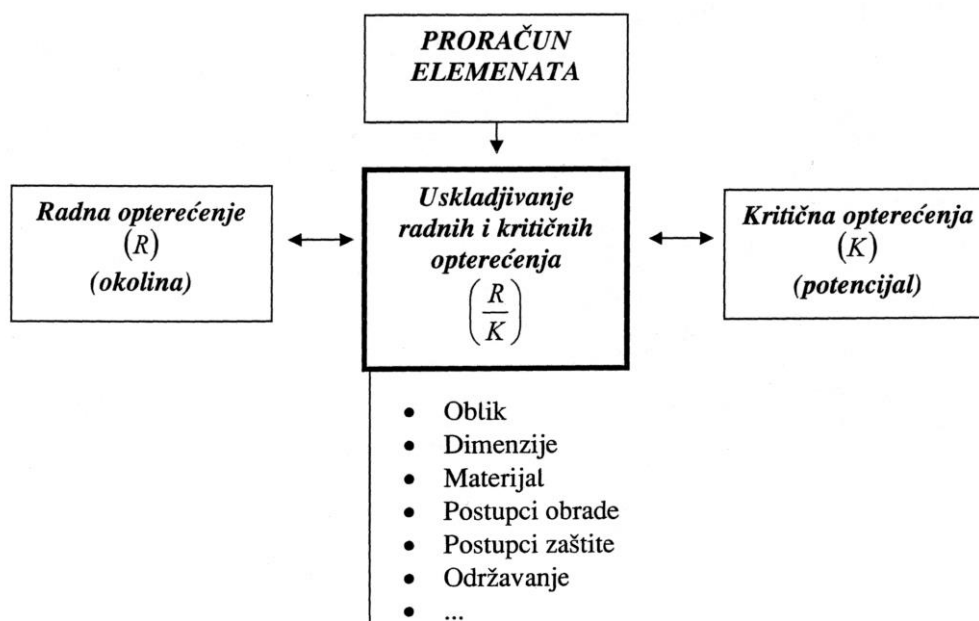
Na osnovu iznetog jasno je da su moguće brojne podele i razvrstavanja ispitivanja. Ovom prilikom će se prokomentarisati [istraživačko-razvojna ispitivanja](#), koja su od posebnog značaja za identifikaciju ponašanja NS. Ova ispitivanja se, sa stanovišta neposrednog cilja ispitivanja, odnosno vrste traženih informacija (koje treba da obezbede), mogu razvrstati na:

- Ispitivanje performansi, odnosno ispitivanje funkcionalnih karakteristika.
- Ispitivanje radnih opterećenja i eksploatacionih uslova.
- Ispitivanja pouzdanosti tj. sposobnosti očuvanja odgovarajućih funkcionalnih karakteristika u određenom periodu sa definisanim režimima opterećenja.
- Ispitivanja bezbednosti vozila (utvrđivanje pokazatelja kako aktivne tako i pasivne bezbednosti).

Važno je istaći i [HOMOLOGACIONA ISPITIVANJA](#). Naime, međunarodni propisi jednoobrazno definišu zahteve i kriterijume za homologaciju vozila i elemenata vozila. [Svaki pravilnik bavi se jednim striktno definisanim problemom i probom-ispitivanjem u vezi sa tim](#). Postupci proba su definisani u okviru samih propisa. Proizvođač vozila je dužan da svoj proizvod usaglasa sa usvojenim Pravilnicima, da podvrgne vozilo proverama i dobije odgovarajuće homologacije. Kada je reč o NS vozila, posebno je interesantna [problematika homologacionih ispitivanja koja se odnose na provere unutrašnjeg prostora pri udarima u barijeru](#). Postoji set pravilnika ECE za ocenu valjanosti noseće konstrukcije. Sve njih karakterišu standardizovani postupci ispitivanja, koji omogućuju pravilno procenjivanje konstruktivnih karakteristika NS, u pogledu saobraznosti sa postavljenim zahtevima i kriterijuma.

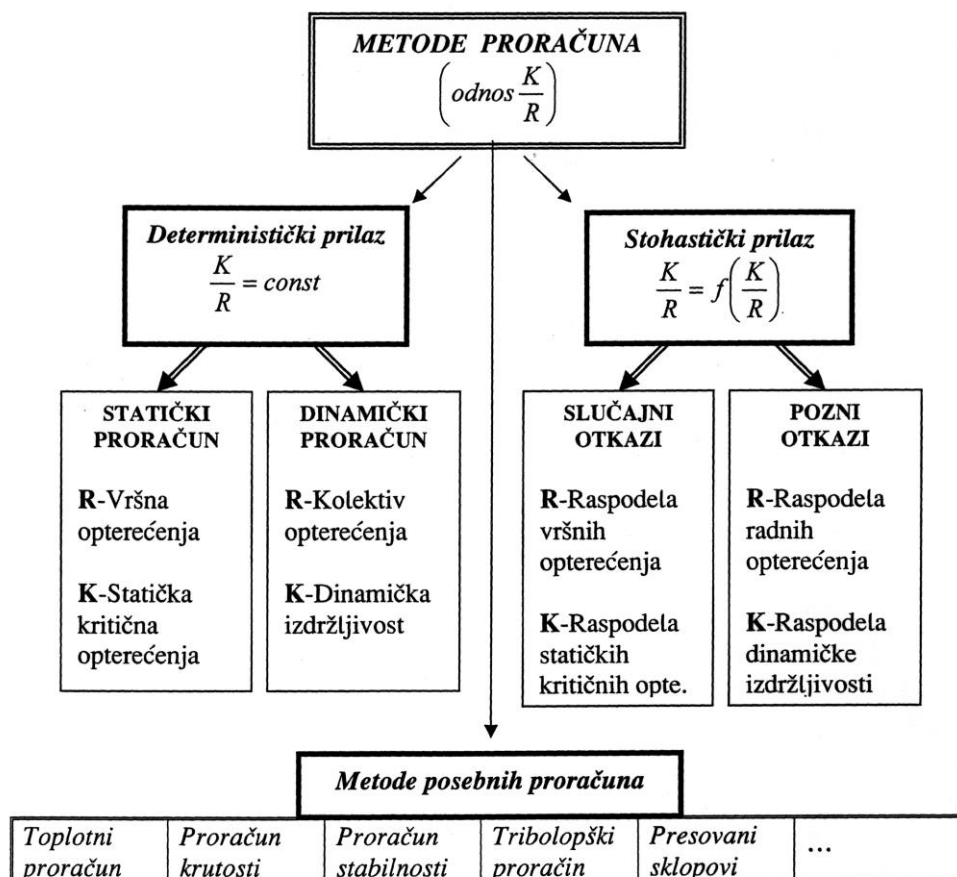
**Napomena:** U okviru predstavljanja specifičnosti problematike NS za pojedine kategorije vozila, prokomentarišaće se karakteristična homologaciona ispitivanja za svaku od kategorija vozila.

Drugi segment koji ćemo posebno razmatrati jeste **proračun NS vozila**, koji predstavlja utvrđivanje odnosa radnih i kritičnih opterećenja (slika 2).



Slika 2

U pitanju je opšta procedura mašinske tehnike, tako da osnovni postulati proračuna važe i u slučaju proračuna NS vozila. Na slici 3 dat je opšti prikaz osnovnih (deterministika / stohastika) i specijalnih metoda proračuna.



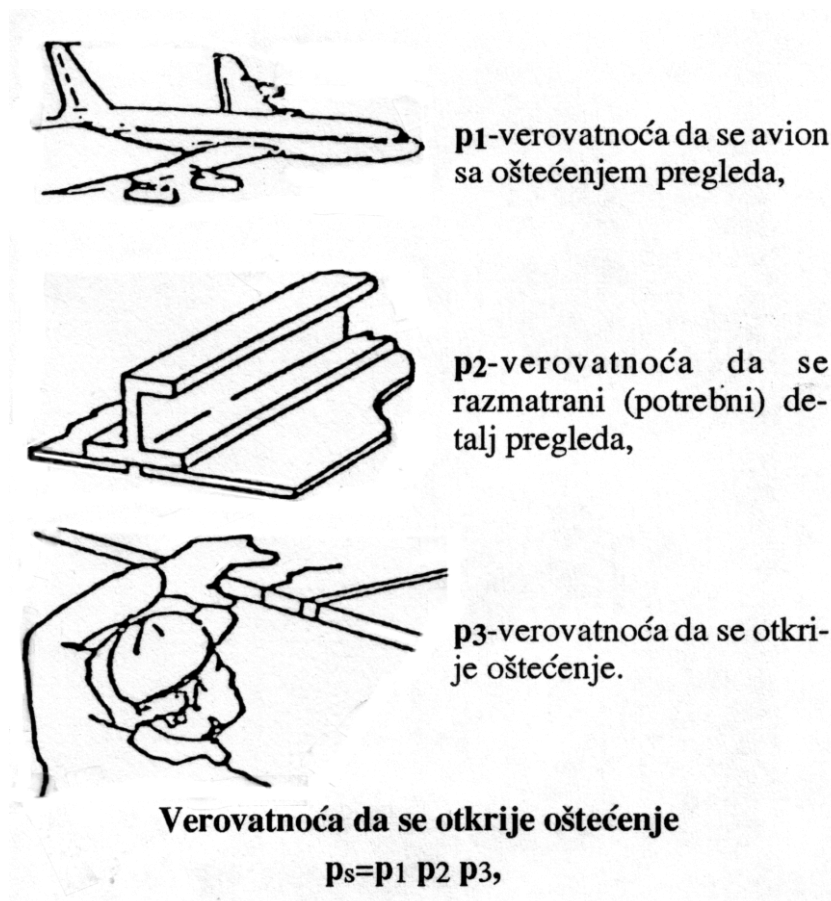
Slika 3

Ciljevi koji se postavljaju pri proračunu NS su različiti. Nekada treba obezbediti uporednu analizu čvrstoće određenih NS. Nekada je potrebno, na osnovu NS postojećeg vozila razviti neko slično rešenje koje odgovara određenim specifičnim zahtevima u pogledu veće nosivosti, primene materijala drugih karakteristika i sl. Uopšteno posmatrano može se konstatovati da su ciljevi proračuna NS u principu orjentisani ka optimizaciji NS u smislu minimiziranja njene sopstvene mase, odnosno povećanja njene korisne nosivosti, s obzirom na normativno limitirane vrednosti bruto mase vozila.

U načelu imamo tri nivoa na kojima bi se mogao sprovesti proračun čvrstoće NS:

- **Kvazistatički proračun** u odnosu na odabrana maksimalna opterećenja, sa odgovarajućim konstantnim stepenom sigurnosti,
- Proračun koji uzima u obzir režim opterećenja, dinamičke karakteristike konstrukcije i **karakteristike zamora materijala**, odnosno primenjenih zavarenih spojeva. I ovaj proračun karakterišu konstantne vrednosti stepena sigurnosti u odnosu na zamor materijala.
- **Proračun pouzdanosti** NS, uzimajući u obzir ne samo podatke iz predhodnih naznaka, nego i raspodele kritičnih i radnih opterećenja elemenata.

Treba istaći problematičnost realizacije proračuna pouzdanosti, jer se ne raspolaže nizom neophodnih informacija na kojima je isti zasnovan. Problematika NS aviona je karakterističan segment konstrukcija za primenu teorija verovatnoće (TRI nivoa). Tu je nužno praćenje stanja, za šta postoje detaljne procedure u cilju identifikacije realnog stanja u eksploataciji, što je veoma zahtevno, ali u slučaju avione i opravdano.



Slika 4

Proračun sa stanovišta stepena sigurnosti u odnosu na zamor materijala jeste primenljiv. Međutim, da bi se primenile preporuke o pojedinim uticajnim činiocima u npr. nekom zavarenom spoju, pored geometrije, nužno je poznavati uticaje koji su realna posledica distribucije (prenosa) merodavnog opterećenja kroz strukturu. Utvrđivanje ovih uticaja predstavlja veoma zahtevnu aktivnost. S druge strane, u okviru ovakvog prilaza brojna istraživanja su orjentisana ka utvrđivanju režima opterećenja pojedinih elemenata i sklopova vozila, s ciljem da se razvije metodologija laboratorijskog ispitivanja dinamičke izdržljivosti. Zajednička karakteristika ovakvih istraživanja je [zahtevnost i složenost uspostavljanja korelacije laboratorijskih rezultata sa realnom eksploatacijom](#). Uglavnom se uvek preporučuje i praćenje realnog korišćenja u cilju potvrde laboratorijski utvrđenih performansi, odnosno veka trajanja konstrukcije. Pored delikatnosti korelacije rezultata, ovaj prilaz karakterišu značajni potrebni resursi u pogledu finansija, ispitnih kapaciteta, potrebnog vremena, ...

[Posebno je važno istaći značaj kvazistatičkog prilaza i razloge zbog kojih ga ne treba podcenjivati:](#)

- Kvazistatički prilaz predstavlja obavezni deo svakog proračuna i on [daje daleko najveći broj važnih informacija](#) o budućoj ili izvedenoj konstrukciji (pogotovo u slučaju primene savremenih numeričkih metoda MKE).
- Kvazistatički proračun (KP) je posebno važan za analize u kojima su inercioni efekti vezani za sopstveno oscilovanje znatno manji (rezonantne pojave, buka, ...) od globalnih inercionih efekata usled ubrzanja elastično oslonjene mase kao krutog tela ([osnovni aspekti čvrstoće](#)).
- Kvalitetnim i sveobuhvatnim kvazistatičim proračunom (Numerical Prototyping-om) mogu se [minimizirati problemi u vezi sa koncentracijom napona u konstrukciji](#). Smanjenjem statičkih naponskih pikova pri karakterističnim proračunskim režimima (KPR), smanjuju se i mogućnosti nastanka inicijalnih prslina, čime se doprinosi podizanju performanse dinamičke izdržljivosti strukture ([eliminiše se uzrok zamora materijala, odnosno intenziviranja procesa zamora materijala](#)).

**Napomena:** Prisustvo koncentracije napona može više da šteti sa stanovišta zamora (kod elemenata čiji je statički stepen sigurnosti obično velik), nego u pogledu vršnih dinamičkih opterećenja. Zato [kvalitetan kvazistatički proračun ujednačavanjem naponske slike obara koncentraciju napona i time veoma pozitivno utiče na vek strukture](#).

Mi ćemo se detaljnije pozabaviti upravo kvazistatičkim prilazom proračuna NS vozila. Kako je već naznačeno proračun predstavlja sagledavanje odnosa radnih i kritičnih opterećenja. To znači da se sam proračun NS svodi na [definisanje uticaja, koji preuzimaju na sebe pojedini elementi strukture pri distribuciji merodavnih opterećenja \(koji karakterišu KPR\) i utvrđivanje rezerve \(stepena sigurnosti\) projektovane konstrukcije](#). Dakle definisanje merodavnih uticaja je preduslov za proveru i potvrdu predviđenog poprečnog preseka svakog od elementa NS. Najčešće se primenjuju sledeće metode za definisanje merodavnih uticaja:

1. Metoda konačnih elemenata (Numerički prototipiranje)
2. Metoda koja koristi koncept "noseće površine" (Pavlovski)
3. Metoda primene teorije tankozidnih profila
4. Metoda pomeranja, koja je pogodna za "ručni prilaz" proračuna



Treba razlikovati proračunski ciklus u odnosu na [proces optimizacije](#). Optimizacija podrazumeva analizu proračunskih odziva, uključuje redizajn konstrukcije, kao i ponavljanje proračunskog ciklusa. Proračunskih ciklusa u okviru optimizacije može biti nebrojano mnogo, jer [konstrukcija uvek može biti bolja](#), stvar je potrebnih resursa i finansijskog opravdanja.

Pri tome se suština optimizacije strukture može iskazati kroz nekoliko karakterističnih aspekata, odnosno aktivnosti:

- [Sagledavanje uticaja](#) na pojedinim nosačima i segmentima strukture
- [Prilagodjavanje poprečnih preseka pojedinih nosača pripadajućim uticajima](#)
- Ujednačavanje stepena sigurnosti karakterističnih preseka konstrukcije, s obzirom da je pouzdanost i kvalitet NS opredeljena ponašanjem najlošije zone, odnosno preseka
- Usaglašavanje interakcije pojedinih segmanata NS, što praktično znači [minimiziranje negativnog uticaja koncentracije napone](#).

U procesu optimizacije nosećih struktura od posebnog značaja su [kriterijumi ocene proračunskih odziva](#). Ne vezujući se za mogućnosti pojedinih metoda, naznačiće se osnovni kriterijumi ocene proračunskih odziva, odnosno valjanosti projektovanog rešenja NS:

- Dozvoljene preporučene vrednosti ugiba ([deformacija](#))
- Dozvoljeno [naprezanje](#) (bez plastične deformacije, odnosno bez prekoračenja vrednosti dozvoljenog napona).
- Maksimalno uravnoteženje odziva (minimiziranje razlika maksimalnih i minimalnih vrednosti naprezanja – [ujednačenost](#) iskorišćenja karakteristika-performansi primenjenog materijala)
- [Maksimiziranje procentualnog učešća membranskih napona](#) u odnosu na savojne napone (princip rebra, kada se karakteristike primenjenog materijala najefikasnije koriste u smislu distribucije merodavnih opterećenja kroz strukturu, (samo u slučaju primene MKE)
- Mogućnost analize dinamičkog odziva (definisanja sopstvenih učestanosti NS, ..., analiza raspodele kinetičke i potencijalne energije deformacije, ... (samo u slučaju primene MKE)

### **Napomena:**

[Struktura je dobra koliko je dobra njena najlošija zona](#). Sve druge zone sa većom rezervom predstavljaju balast. S druge strane struktura uvek može biti i bolja, u zavisnosti od raspoloživih resursa (kadrovskih, vremenskih, finansijskih ...), a shodno poslovnoj proceni i politici rukovodstva razvojnog tima projekatana, odnosno proizvođača.

[Kriterijumi ocene zavise od metode koja se primenjuje u proračunu](#). Najdetaljnija i najkompleksnija u smislu celovitosti i sveobuhvatnosti proračunskih odziva je MKE. Međutim, kroz prikaz pojedinih metoda detaljnije će se prokomentarisati mogućnosti i karakteristike svake pojedinačno, a u pogledu omogućavanja sprovođenja kvalitetnog optimizacionog procesa. Takođe detaljniji kometnar ovih kriterijuma daće se i kroz prikaz specifičnosti problematike NS po kategorijama vozila.

**Napomena:** Nepreciznosti pojedinih modela, kao i neminovna uprošćenja i nedoslednosti za bilo koju metodu imaju umanjen negativni efekat, imajući u vidu činjenicu da su optimizacione aktivnosti praktično uvek bazirane na komparativnoj analizi proračunskih odziva za pojedine proračunske varijante. Ovi proračunski odzivi su potpuno kompatibilni. Naime, sve učinjene „greške u smislu aproksimacije i/ili uprošćenja“ prisutne su u svim proračunskim varijantama koje se razmatraju. To znači da se objektivno može utvrditi koju proračunsku varijantu karakteriše najpovoljniji proračunski odziv (od raspoloživih), uz ogradu u pogledu korektnosti apsolutnih vrednosti proračunskih odziva. Ovo je najčešće **dovoljno za pravilno usmeravanje razvojnih aktivnosti**. Pod uslovom da nije u pitanju suštinski „promašaj“ u postavci (zato je neophodna validacija modela, odnosno potvrda proračunski dobijenih odziva NS).

## Karakteristični proračunski režimi (KPR)

Početak ciklusa proračuna (bez obzira na primenjenu metodu) vezuje se za **definisanje KPR**, koji će definisati režime kretanja vozila za koje će se, na osnovu karakteristika masenih/geometrijskih vozila i opštih smernica za vrednosti karakterističnih parametara ( $K_d$ ,  $\phi$ ,  $h$ , ...), opredeliti **merodavna opterećenja u kontaktu pneumatika i tla**. Analiza distribucije ovako utvrđenih sile u kontaktu pneumatika i tla dalje na strukturu vozila predstavlja suštinski zadatak na osnovu koga se utvrđuju opterećenja pojedinih elementima konstrukcije, odnosno uticaji koje ovi elementi prihvataju u distribuciji merodavnih sila (što je pretpostavka proračuna).

KPR se odnose na statičku analizu, odnosno kvazistatički princip, pri čemu možemo definisati nekoliko grupa KPR:

- Globalni (opšti) KPR
- Specifični KPR
- Normativno odredjeni KPR

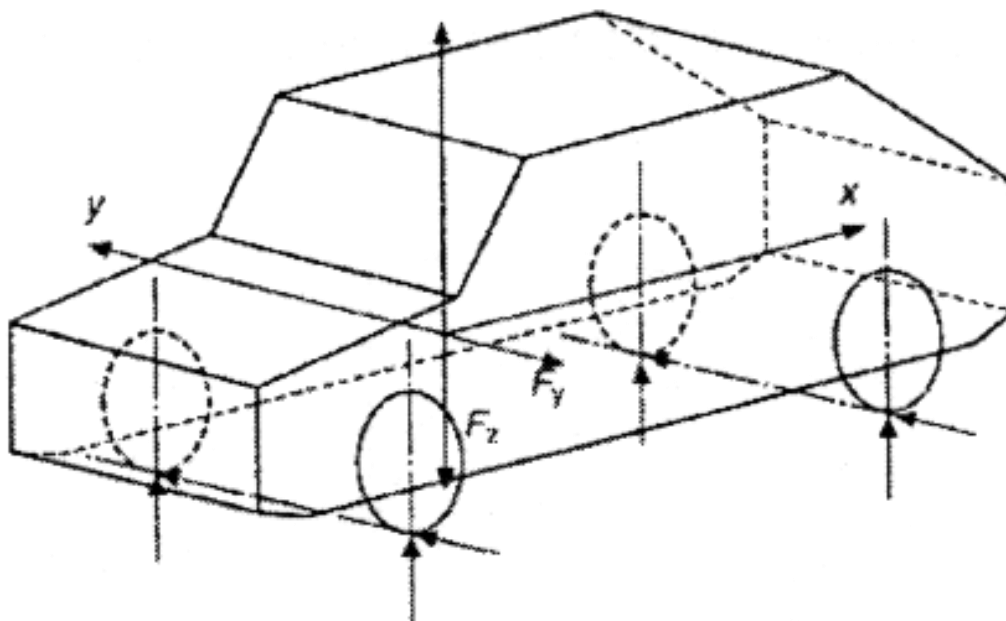
### **Globalni (opšti) KPR**

Ovi KPR najčešće **simuliraju ekstremne uslove opterećenja**, koji se mogu javiti u eksploataciji, a posledica su kretanja vozila pri različitim manevrima vozača i različitim uslovima puta. Postoji nekoliko osnovnih opštih KPR, odnosno slučajeva opterećenja nosećeg sistema:

- Savijanje
- Uvijanje (uslovno)
- Složeno (kombinovano savijanje i uvijanje)
- Poprečno opterećenje
- Inercijalno opterećenje



## Savijanje

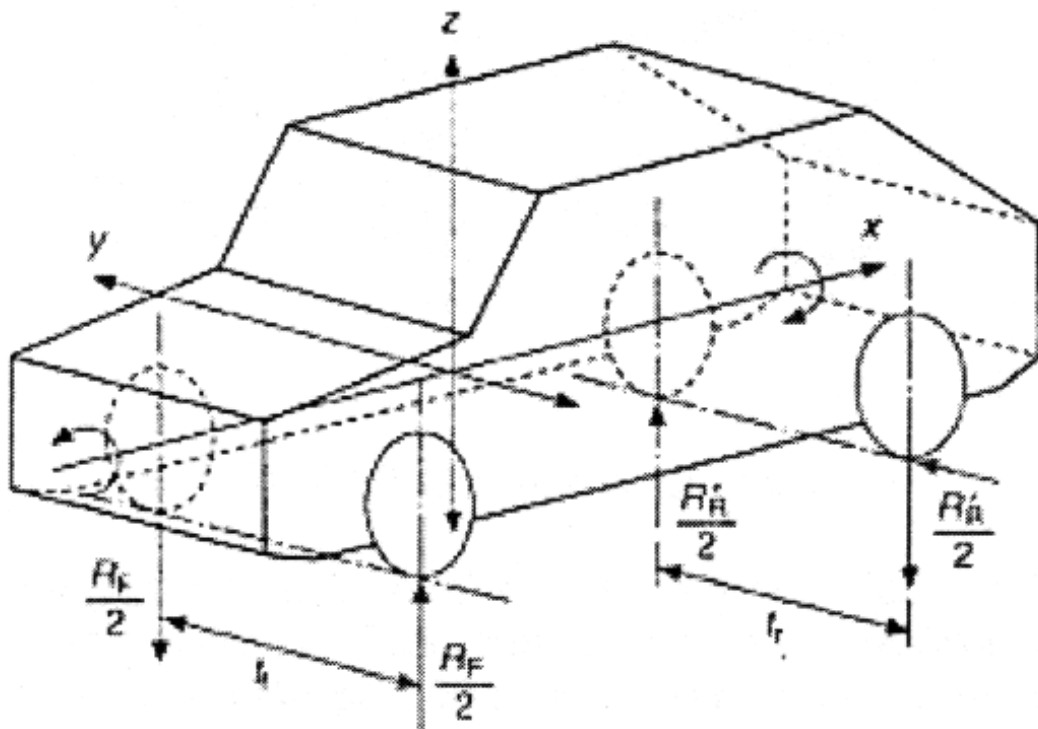


Naponi savijanja posmatraju se u X-Y ravni. Uslovi savijanja zavise od mase elemenata samog vozila i tereta koji se prevozi. Prvo treba **odrediti statička opterećenja** koja se prenose kroz elemente noseće strukture vozila. **Reakcije koje se prenose na podlogu** dobijamo rešavanjem statičkih jednačina postavljenim za sile i momente kojima je izložena noseća struktura. Noseća struktura se može idealizovati i posmatrati kao slučaj dvo-dimenzionalnog opterećenja grede koja je simetrična u podužnom x pravcu. Način na koji će se vršiti preraspodela opterećenja zavisi od težine elemenata, uključujući i elemente unutrašnjosti vozila, po jediničnoj dužini nosećeg sistema. Elementi vozila kao što su točkovi, kočnice, elementi sistema oslanjanja ne uzimaju se u obzir pri analizi opterećenja jer ne opterećuju noseću strukturu (**uticaj neelastično oslonjenih masa**).

**Uz pomoć dijagrama raspodele opterećenja (elastično oslonjene mase) lako se dolazi do dijagrama sila i momenta savijanja noseće strukture.** Dinamička opterećenja takođe se moraju uzeti u obzir jer se vozila kreću po različitim putnim konfiguracijama. Npr. vozilo može naići na uzvišenje koje će dovesti do odvajanja točkova od podloge. Pri ponovnom uspostavljanju kontakta sa podlogom opterećenje celokupne mase vozila prenosi se na sistem oslanjanja ali i na noseći sistem, pri čemu su ta opterećenja značajno veća od statičkih. **U smislu definisanja maksimalnih vertikalnih sila u kontaktu pneumatika i podloge, statičke reakcije tla se multipliciraju koeficijentom dinamičkog udara  $K_d$** , koji će se detaljnije prikazati i prokoementarisati.

**Napomena:** Praktično je merodavno maksimalno vertikalno udarno opterećenje  **$Z_{max}$** , koje simulira prelazak preko vertikalne prepreke na putu, za šta je opredeljujuća usvojena vrednost koeficijenta dinamičkog udara  $K_d$  (koji će se posebno predstaviti i prokomentarisati u okviru predstavljanja parametara koji opredeljuju opterećenja pri KPR).

## Uvijanje

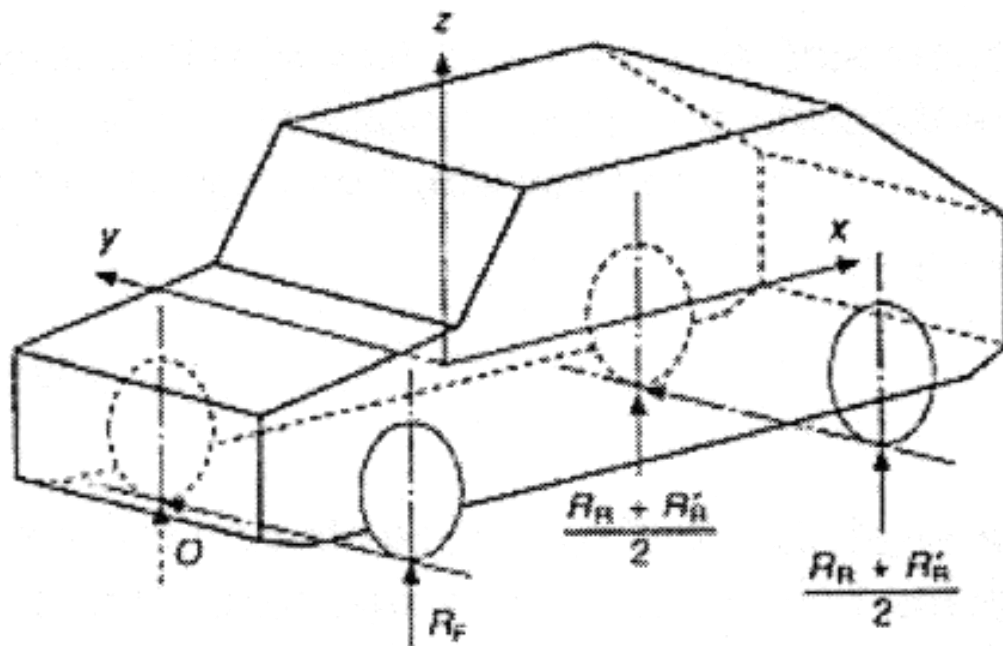


Čisto uvijanje se može objasniti slučajem kada opterećenje na jednoj od osovina rezultuje stvaranjem momenta koji na drugoj osovini izaziva moment ali suprotnog pravca, što dovodi do uvijanja. Pri tome je **maksimalni moment uvijanja određen opterećenjima koja potiču od osovine koja je manje opterećena.**

Ovaj režim se u realnom korišćenju vozila **ne može pojaviti bez savjanja** koje je posledica sile zemljine teže. Mađutim, kako je uvijanje često i merodavan proračunski režim, a imajući u vidu laboratorijska ispitivanja uvojne krutosti NS, koja se utvrđuje na neopterećenoj strukturi, ovakav režim je uključen.

**Napomena:** Praktično se **simulira uvijanje** noseće strukture (NS) oko podužne ose, koje se obezbedjuje **saopštavanjem odgovarajućih ugaonih deformacija u poprečnoj vertikalnoj ravni elemenata NS u zoni ose sistema za oslanjanje**. Uslovi uključenja deformacija koje za posledicu imaju uvijanje NS biće detaljnije predstavljene u okviru predstavljanja parametara koji opredeljuju opterećenja pri KPR.

## Složeno (kombinovano savijanje i uvijanje)

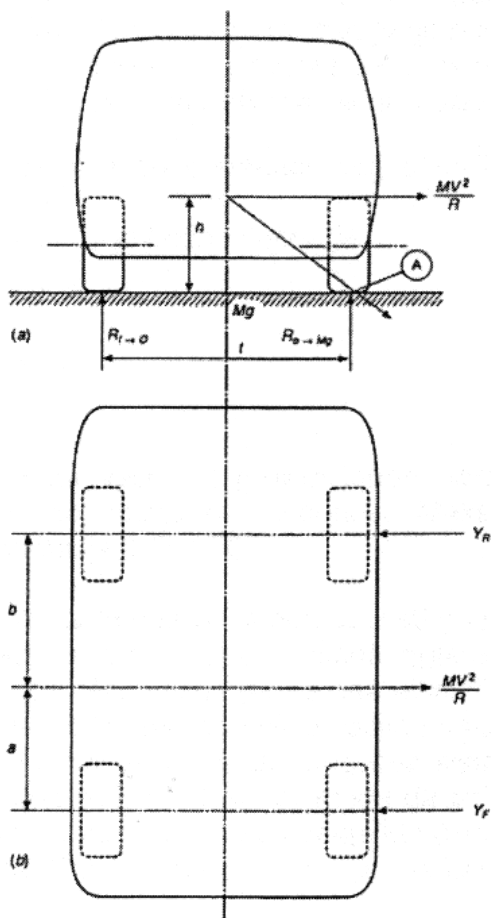


Realna situacija koja predstavlja ovaj slučaj je kada se jedan točak lakše opterećene osovine odigne usled neke neravnine.

Postoje [različite preporuke u smislu potrebne merodavne visine dizanja](#) da bi se ostvarila maksimalna opterećenja, odnosno maksimalni ugao torzije. Ova visina varira [od 150mm, 200mm, pa do 300-360mm](#). Podrazumeva se da su i u ovom slučaju opterećenja vozila limitirana manje opterećenom osovinom. Naime odizanje točka bez porasta momenta uvijanja iako se visina izdizanja povećava nema uticaja na naponski odziv strukture.

Kada NS čine nosači otvorenog tankozidnog poprečnog preseka (npr. [Okvir privrednih i priključnih vozila](#)) ovo je [merodavni proračunski režim](#), ključan za optimizaciju konstrukcije.

## Poprečno opterećenje



Bočna sila koja deluje u težištu vozila

$$F = \frac{mV^2}{R}$$

Iz uslova ravnoteže proističe

$$\frac{mV^2}{R} h_c = mg \frac{t}{2}$$

$$\frac{V^2}{R} = \frac{gt}{2h_c}$$

$$\frac{mV^2}{R} = \frac{mgt}{2h_c}$$

Bočna sila na prednjim točkovima

$$Y_F = \frac{mgt}{2h_c} \frac{b}{a+b}$$

Bočna sila na zadnjim točkovima

$$Y_R = \frac{mgt}{2h_c} \frac{a}{a+b}$$

Kada vozilo skreće, dolazi do pojave poprečnih opterećenja koja nastaju na kontaktnoj površini pneumatika sa podlogom i jednaka su centrifugalnoj sili. Granični i najopasniji slučaj je kada reakcija na unutrašnjem točku dostigne vrednost jednaku nuli kada dolazi do bočnog prevrtanja vozila. Pri ovakvim uslovima noseća struktura vozila je izložena savijanju u x-y ravni. **Uslovi pri kojima će doći do prevrtanja zavise od visine težišta vozila i raspona između točkova . Pri ovim uslovima rezultanta centrifugalne sile i težine vozila prolazi kroz kontaktnu površinu A između spoljašnjeg točka i podloge.**

Noseća struktura se praktično posmatra kao prosta greda izložena poprečnom opterećenju u x-y ravni u težištu vozila.

Kretanjem vozila u normalnim uslovima (u smislu da nema dodatnih ivičnjaka i/ili prepreka pri bočnom proklizavanju) nikada se ne dolazi u ovakvu situaciju jer iz jednačine gde je visina težišta **npr. standardnog putničkog automobila** 0,51 m i međuosno rastojanje od 1,45 m sledi da je bočno ubrzanje

$$\frac{gt}{2h_c} = \frac{g \cdot 1,45}{2 \cdot 0,51} = 1,42g$$

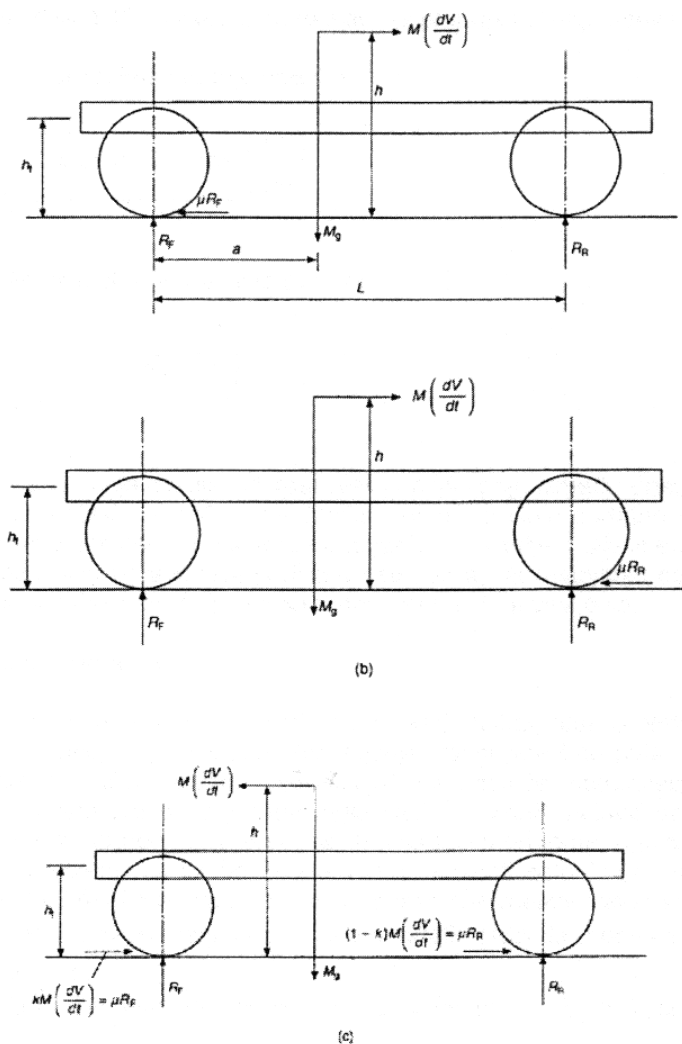
Bočno ubrzanje je 1.42 puta veće od gravitacionog ubrzanja. Vozilo opremljeno standardnim pneumaticima ne može dostići ovu vrednost. Maksimalnu vrednost bočnog ubrzanja koju može vozilo da dostigne je (0.75-1)g.

Velika bočna opterećenja izazivaju savijanje nosećeg sistema u x-y ravni, ali ona nisu važna jer se ona eliminišu dovoljnom čvrstoćom i krutosti nosećeg sistema, što se ne može reći za [visinu vozila i neravnine na putu koje imaju bitan uticaj na prevrtanje vozila](#). Mesta veze između nosećeg sistema i elemenata sistema oslanjanja zbog toga moraju biti konstruisana tako da mogu da izdrže takve nagle promene opterećenja.

**Napomena:**

Neravnine prilikom kretanja vozila u krivini mogu dovesti do pojave značajnih dodatnih opterećenja, pa i prevrtanja vozila pri određenim uslovima. Međutim, ovaj KPR praktično [predstavlja simuliranje bočnog proklizavanja vozila \(Y-max\), što je limitirano merodavnim vrednostima koeficijenata pricanja pneumatika sa tlom u bočnom pravcu](#)).

## Inercijalno opterećenje



Pri ubrzavanju i usporavanju vozila dolazi do pojave **sile inercije**. Težište vozila se nalazi na određenoj visini od površine puta što dovodi do **preraspodele opterećenja** sa osovine na osovину prilikom kretanja vozila usled dejstva sile inercije. Kada se vozilo ubrzava težina vozila se prenosi sa prednje osovine na zadnju osovину i obrnuto kada se vozilo usporava težina se prenosi sa zadnje osovine na prednju.

Za punu sliku o dejstvu sila svih elemenata vozila potrebno je znati podatak o visinama svih elemenata što je praktično nemoguće, zbog toga se za analizu koristi pojednostavljen model za koji se pretpostavlja da sila inercije deluje u težištu vozila.

Ovaj uprošćen **model pruža podatke o tome kako se trenutno opterećenje po osovinama raspoređuje prilikom dejstva vučnih i kočnih sila**. Na slici je prikazano delovanje vučnih i kočnih sila za slučaj prednji pogonskih točkova (slika a), za slučaj zadnjih pogonskih točkova (slika b) i za slučaj kočenja (slika c).

**Napomena:** Dominantno je kočenje jer se pri intenzivnom kočenju dolazi u situaciju da se koristi **fizička granica limita distribucije opterećenja u kontaktu pneumatik tlo**. Treba istaći isti značaj simuliranja intenzivnog kočenja u pravcu, kako pri kretanju vozila **unapred**, tako i pri kretanju vozila **unazad**. U oba slučaja je u pitanju simetrično opterećenje limitirano usvojenim koeficijentom prijanjanja. Usporenje je osnovni uzročnik pojave merodavnih opterećenja, uz naznaku da je početna brzina od sekundarnog značaja (i pri malim početnim brzinama moguće je intenzivno kočenje na granici prijanjanja).

## **Specifični KPR**

Specifični KPR predstavljaju dopunu globalnim KPR i uglavnom su vezeni za pojedine specifične funkcionalne zone (SFZ) i interesantne zone (IZ), a zavise i od kategorije vozila.

- U slučaju [elemenata veze sistema za oslanjanje](#) priključnog ili privrednog vozila (višeosovinski agregat – troosovinski / dvoosovinski) treba uključiti [zakretanje vozila u mestu](#), odnosno zakretanje minimalnim radiusom (maksimalne bočne sile bez inercijalnih efekata, koji uslovljavaju preraspodelu masa na leve i desne točkove),
- Proračun čvrstoće [mekhanizma za vođenje zadnjih točka](#) treba da uključi režim intenzivnog [kočenja pri kretanju unazad](#) jer je to merodavno opterećenje za analizu zadnje osovine. (intenzitet usporenja, a time i sila u kontaktu pneumatika sa tlom ne zavisi od brzine, već od usporenja, koje se može javiti u ekstremnim vrednostima i pri malim brzinama kretanja koji karakterišu voznju unazad)
- U slučaju privrednih vozila (teretnog prostora) uključiti [način utovara](#) (opterećenje od viljuškara), [specijalni tereti](#) i sl.
- Kod [autobusa](#) koji je predviđen za alternativni pogon na KPG (komprimovan prirodni gas), sa [rezervoarima na krovu](#), ili ako se predviđa [ugradnja klima uređaja](#), čvrstoća krovne konstrukcije je od posebnog značaja za dinamičko ponašanje NS, sa izraženim problemima u vezi sa rezonantnim pojavama.
- ...

[Lista specifičnih KPR je otvorena](#), kako se to može videti i na globalnom prikazu usvojenog metodološkog prilaza. Proširenja nastaju u slučaju kada je nužno sagledati razloge nastanka eventualnih problema u eksploataciji, ukoliko se utvrdi da neki eksploatacioni uslovi opterećenja nisu obuhvaćeni postojećom specifikacijom karakterističnih proračunskih režima (KPR).



## **Normativno odredjeni KPR**

Normativno odredjeni KPR se uglavnom odnose na simulaciju uslova, koje propisuju odgovarajući ECE pravilnici (R12, R32, R33, R36, R54, R58, R66, R73, R103, ...) sa aspekta homologacijskih ispitivanja pojedinih uređaja i sistema. Prisutno je uključenje aspekta krutosti uređaja i sistema u elasto plastičnoj zoni, što predstavlja viši-složeniji nivo analize u pogledu proračuna i identifikacije ponašanja konstrukcija, koji značajno prevazilazi po složenosti uobičajne analize čvrstoće u pogledu nosivosti i krutosti. Sličan komentar važi i u slučaju utvrđivanja ponašanja struktura vozila sa stanovišta Euro CAP ispitivanja i kraš testova. Ova problematika će se celovitije i detaljnije predstaviti kroz prikaze specifičnosti po pojedinim kategorijama vozila.

U prethodnim izlaganjima definisani su KPR koji opredeljuju pripadajuća merodavna opterećenja za konkretno vozilo i KPR. Dakle, za poznate karakteristike vozila (masene i geometrijske) i usvojene KPR (uz utvrđene vrednosti karakterističnih parametara za definisanje opterećenja pri KPR), proističu i sile u kontaktu pneumatika i tla konkretnog vozila. Ovo je pretpostavka da bi se pristupilo analizi distribucije ovako definisanog opterećenja kroz strukturu vozila (a to znači utvrđivanje uticaja, pa dalje definisanje rezerve u odnosu na karakteristike materijala, što praktično predstavlja proračun).

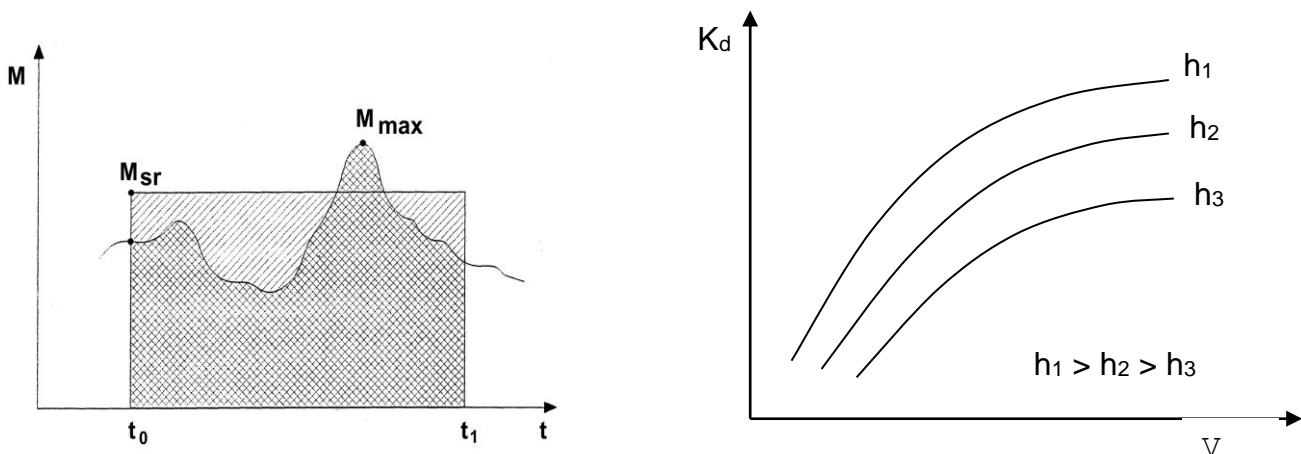
## Parametri za definisanje opterećenja pri KPR

Predstaviće se i prokomentarisati opšte smernice za definisanje opterećenja pri globalnim (opštim) KPR. Kada je reč o globalnim KPR (izuzimajući asimetrično opterećenje), očigledno je da **merodavna opterećenja opredeljuju sile u kontaktu pneumatika i tla**, kao i odnos sila na pojedinim točkovima (uticaj oslanjanja, broja osovina, preraspodele opterećenja među njima, ...).

### Maksimalna vertikalna sila ( $Z_{\max}$ )

Kada je u pitanju vertikalno merodavno opterećenje za proračun, najčešće se primenjuje princip povećanja (multipliciranja) statičkog opterećenja za iznos **dinamičkog koeficijenta  $K_d$** . Razlike se samo odnose na vrednosti ovog koeficijenta i način njihovog definisanja. Postoje različite metode za odredjivanje dinamičkog koeficijenta. Jedan od prilaza podrazumeva utvrđivanje ubrzanja na karakterističnim mestima NS, pa zatim izračunavanje  $K_d$  ili merenje dinamičkih sila na prednjem i zadnjem mostu, da bi se u zavisnosti od osovinskog rastojanja definisala promena  $K_d$  duž konstrukcije.

Na slici je data načelna zavisnost  $K_d$  u funkciji visine prepreke na koju vozilo nailazi i brzine kretanja samog vozila.



$$\left( K_d = \frac{a}{g} = \frac{Z_{\max}}{Z_{st}} \right)$$

**Praktično vertikalna sila uvek može biti veća, shodno karakteristikama vozila i brzini njegovog kretanja, kao i uslovima okruženja (visina prepreke).** Koeficijent  $K_d$  iskustveno, zavisno od kategorije i namene vozila, limitira merodavne maksimalne vrednosti vertikalne reakcije tla. Preporučene vrednosti koeficijenta  $K_d$  data su u tabeli.

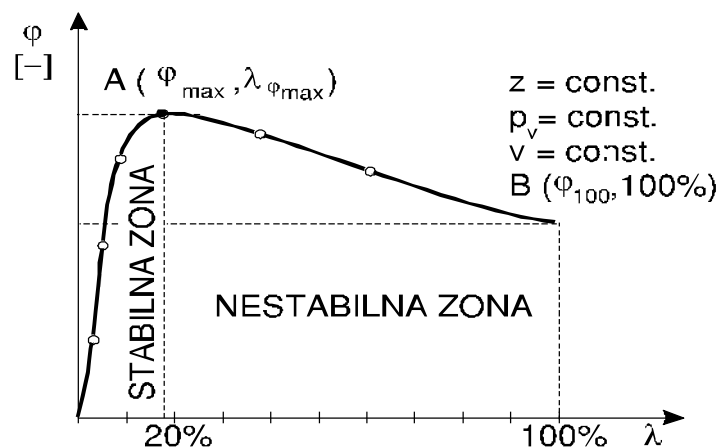
Vrednosti $K_d$	
Laka putnička vozila	1,5 – 1,75
Autobusi i teretna vozila	2 – 2,5
Terenska vozila	2,5 - 3
Traktori i vozila sa krutim oslanjanjem	2,75 – 3,25

### Maksimalne vertikalne sile ( $X_{\max}$ , $Y_{\max}$ )

Za definisanje merodavnih horizontalnih opterećenja (podužne i poprečne sile) u kontaktu pneumatika i tla, kao **limitirajući parametri javljaju se koeficijenti prijanjanja u podužnom i poprečno pravcu.**

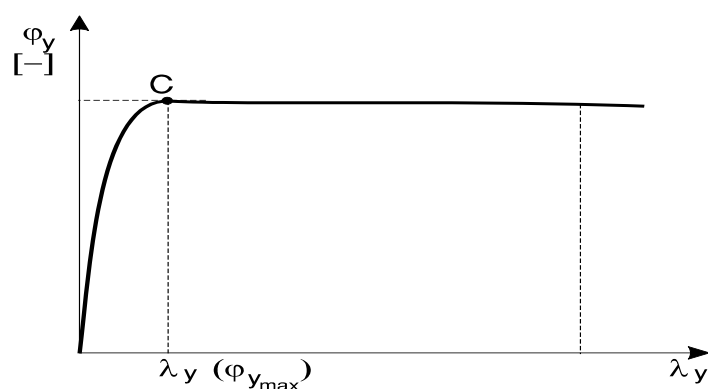
Na slikama dati su prikazi zavisnosti ovih koeficijenata od klizanja, a za proračun su merodavne njihove maksimalne vrednosti (naznačene u tabeli). Treba naglasiti da se **podrazumevaju dinamičke reakcije podloge pri definisanju podužnih i poprečnih sila u kontaktu pneumatika i tla.**

Prijanjanje (podužno)	$\varphi_{\max} (\varphi)$	0.8 – 0.9
Prijanjanje (poprečno)	$\varphi_{y\max} (\varphi_b)$	1



Zavisnost koeficijenta prijanjanja od klizanja u kontaktu kočenog točka

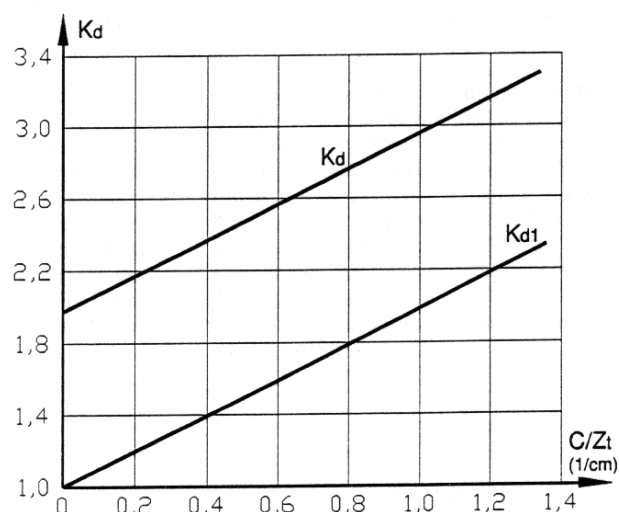
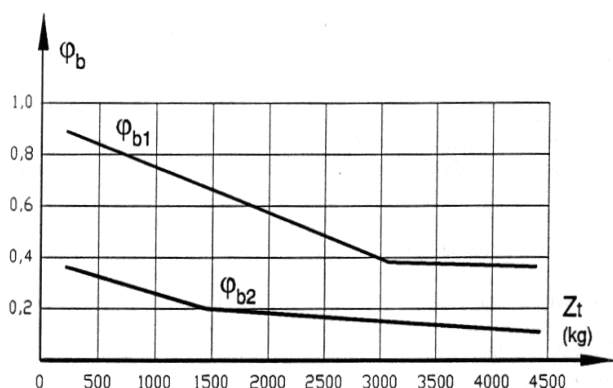
Zavisnost  $\varphi$ – $\lambda$  naziva se stacionarnom i postavljena je uz uslov da su podužna brzina kretanja, vertikalno opterećenje i pritisak vazduha u pneumatiku tokom merenja konstantni. Tačka A ima koordinate  $\varphi_{\max}$  (maksimalno ostvareno prijanjanje) i  $\lambda_{\varphi_{\max}}$  (koeficijent klizanja za slučaj maksimalnog prijanjanja). Procenat klizanja pri maksimalnom prijanjanju kreće se između 15-20%.



Zavisnost bočnog prijanjanja od klizanja u kontaktu

Na prikazanoj načelnoj zavisnosti koeficijenta bočnog prijanjanja od koeficijenta klizanja pri povodenju vođenog točka tačka C predstavlja granicu do koje ostvareno prijanjanje raste, kada se ugao povodenja povećava. Procenat klizanja pri maksimalnom prijanjanju je između 10% i 12%. Ukoliko ugao povodenja i dalje raste ostvareno prijanjanje se ne menja.

Prilika je da se predstavi jedan univerzalni način definisanja ovih sila, koji definiše vrednosti koeficijenata dinamičkog udara i vrednosti koeficijenata prijanjanja u funkciji merodavnih parametara sistema za oslanjanje (**krutosti sistema oslanjanja** "C" i **vertikalne reakcije tla** "Z<sub>t</sub>").



Na slikama su grafički su predstavljene zavisnosti sledećih koeficijenata:

$\varphi_{b1}$  - koeficijent prijanjanja u bočnom pravcu, s obzirom na vršna opterećenja,

$\varphi_{b2}$  - koeficijent prijanjanja u bočnom pravcu, s obzirom na zamor materijala,

$K_d$  - dinamički koeficijent udara, koji uzima u obzir vršna opterećenja,

$K_{d1}$  - dinamički koeficijent, koji uzima u obzir zamor materijala.

Kada je reč o koeficijentu dinamičkog udara  $K_d$ , već je naglašeno da merenja (**eksperimenti**) predstavljaju **najznačajnije iskustvo**. Posebno izražen uticaj na  $K_d$  ima brzina kretanja vozila, njegova namena, karakteristike primenjenog sistema za oslanjanje i sl. Prikazan univerzalni **metod objedinjuje različite kategorije vozila** na bazi uvođenja odnosa ( $C/Z_t$ ). **Uvodeći krutost elastičnog oslonca, na odredjen način se uključuje uticaj konstrukcijskih performansi sistema za oslanjanje.**

### U slučaju uvijanja NS

Maksimalna opterećenja, odnosno maksimalni ugao torzije javlja kada se jedan od točkova na jednoj osovini vozila podigne na određenu visinu. Postoje različite preporuke u smislu potrebne merodavne visine dizanja **od 150mm, pa do 300-360mm**. Treba naglasiti da su opterećenja pri asimetričnom opterećenju vozila limitirana manje opterećenom osovinom (odizanje točka bez porasta momenta uvijanja iako se visina izdizanja povećava). Vrlo često se uvijanje - torzija NS definiše kao merodavni proračunski režim, pogotovo kada NS čine nosači otvorenog tankozidnog poprečnog preseka (**ne mora uvek maksimalni ugao uvijanja**).

**Napomena:** *Ovako značajne razlike u vrednostima visine izdizanja posledica su između ostalog i različitih kategorija vozila. Međutim, ponovo se napominje da ove vrednosti ne moraju, niti trebaju da budu fiksne i nepromenljive, kada se radi o uporednoj analizi varijantnih rešenja. Naime, **treba istaći da je od veće važnosti da se uporedne analize sprovode sa međusobno komparativnim i kompatibilnim okolnostima, u odnosu na određenu apsolutnu vrednosti za konkretni slučaj.***