

Vučno-dinamičke performanse vozila:

KRETANJE VOZILA NA PUTU SA UZDUŽNIM NAGIBOM

(USPON / NIZBRDICA)



Približno određivanje maksimalnog uspona

- Karakteristika od značaja pre svega za teža komercijalna i vanputna vozila
- U praksi često ograničena mogućnošću za realizaciju vučne sile na osnovu prijanjanja pneumatika za podlogu (*detaljnije u nastavku kursa*) a ne resursima pogonskog motora (*što je ovde predmet razmatranja*)
- Sposobnost vozila za savladavanje uspona može se aproksimativno oceniti na osnovu vučne karakteristike odnosno koristeći bilans sila:

$$F_O = F_f + F_w + F_\alpha + \cancel{F_{IN}}^0$$

- Pretpostavka je da se raspoloživa obimna sila u celosti koristi za savladavanje otpora uspona, tj. uspon se dostiže iz prethodnog zaleta i vozilo ne ubrzava ($F_{IN} = 0$).
- Korišćenjem približne jednakosti $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha$ (važi za male uglove u radijanima), i usvajajući $\cos\alpha \approx 1$ (npr. $\cos 25^\circ \approx 0,9$, što za drumska vozila predstavlja veoma velik uspon od čak $\approx 45\%$) dobija se:

$$F_O = f \cdot G \cdot \cos\alpha + F_w + G \cdot \sin\alpha \approx F_w + f \cdot G + G \cdot u$$

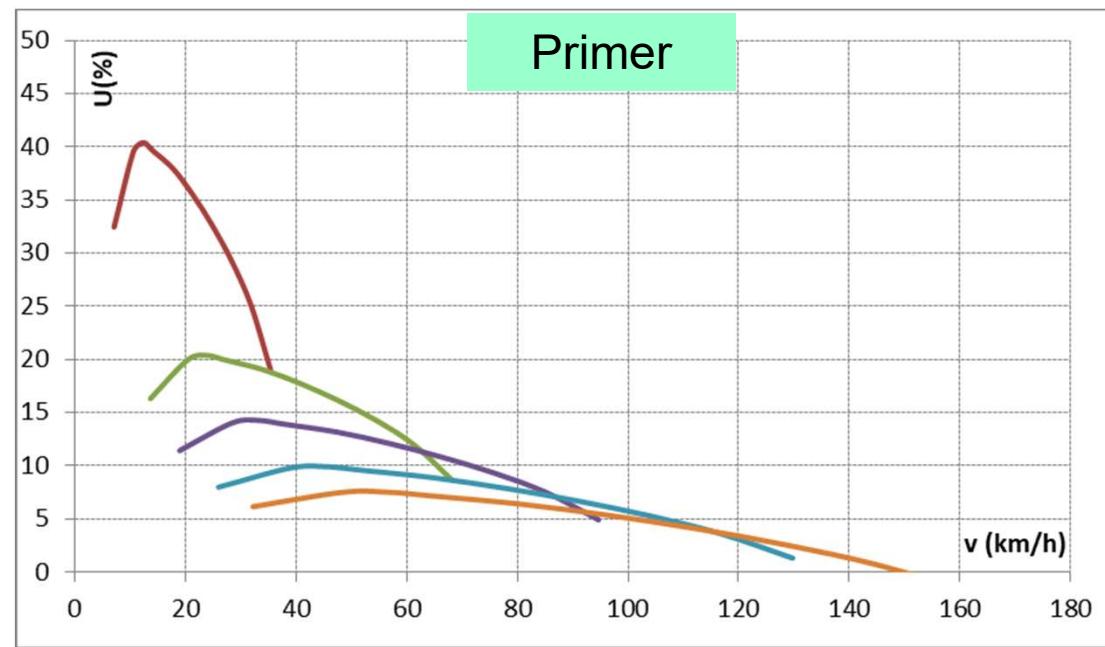
$u = \operatorname{tg}\alpha$ - uspon u decimalnom obliku
(uspon u procentima: $U = u \cdot 100\%$)

Približno određivanje maksimalnog uspona

- Iz prethodnog sledi:

$$u = \frac{F_O - F_W}{G} - f$$

- Gornji izraz se može pomnožiti sa 100% da bi se direktno dobio uspon u [%].



- Pošto u izrazu za vrednost uspona figuriše obimna sila F_O , vrednosti se shodno tome izračunavaju za svaki stepen prenosa pojedinačno.
- Dobijeni dijagram prikazuje mogući uspon u funkciji brzine kretanja, za svaki stepen prenosa.

Približno određivanje maksimalnog uspona

DISKUSIJA UTICAJA USVOJENIH APROKSIMACIJA I PRETPOSTAVKI NA
TAČNOST REZULTATA PRIKAZANOG POSTUPKA

1. Pretpostavka $F_{IN} = 0$: izračunata vrednost uspona se može dostići jedino iz zaleta, odnosno vozilo ne može da krene iz mirovanja na tom usponu. Uspon na kom vozilo može da startuje iz mirovanja će biti manji, pošto se mora ostaviti izvesna rezerva za ubrzavanje odnosno inercijalnu silu. Ovo je, doduše, od značaja samo za niže stepene prenosa (*u nastavku je prikazan tačniji način za određivanje maksimalnog uspona u tim uslovima*).
2. Za vrlo velike uspone, aproksimacija $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ dovodi do toga da bi se tačnim rešenjem dobila veća vrednost uspona; isto važi i za pretpostavku $\cos\alpha \approx 1$, pošto sa porastom ugla opada kosinus a time i uticaj otpora kotrljanja, ostavljajući mogućnost za veći udeo otpora uspona u ukupnoj sili. Doduše, za tako velike vrednosti uspona (dakle opet u niskim stepenima prenosa), koje bi sa ovog aspekta dovele do značajnijih odstupanja, potrebno je prvenstveno izvršiti proveru da li mogu da budu realizovane sa stanovišta prijanjanja pogonskih pneumatika za podlogu.

Maksimalni uspon u prvom stepenu prenosa

- U ovoj analizi biće zadržana pretpostavka $F_{IN} = 0$;
- Zbog male brzine kretanja, usvaja se $F_W \approx 0$.
- Aproksimacije vezane za trigonometrijske funkcije neće biti korišćene.
- Bilans sila tada glasi:

$$F_O = F_f + F_\alpha = f \cdot G \cdot \cos\alpha + G \cdot \sin\alpha$$

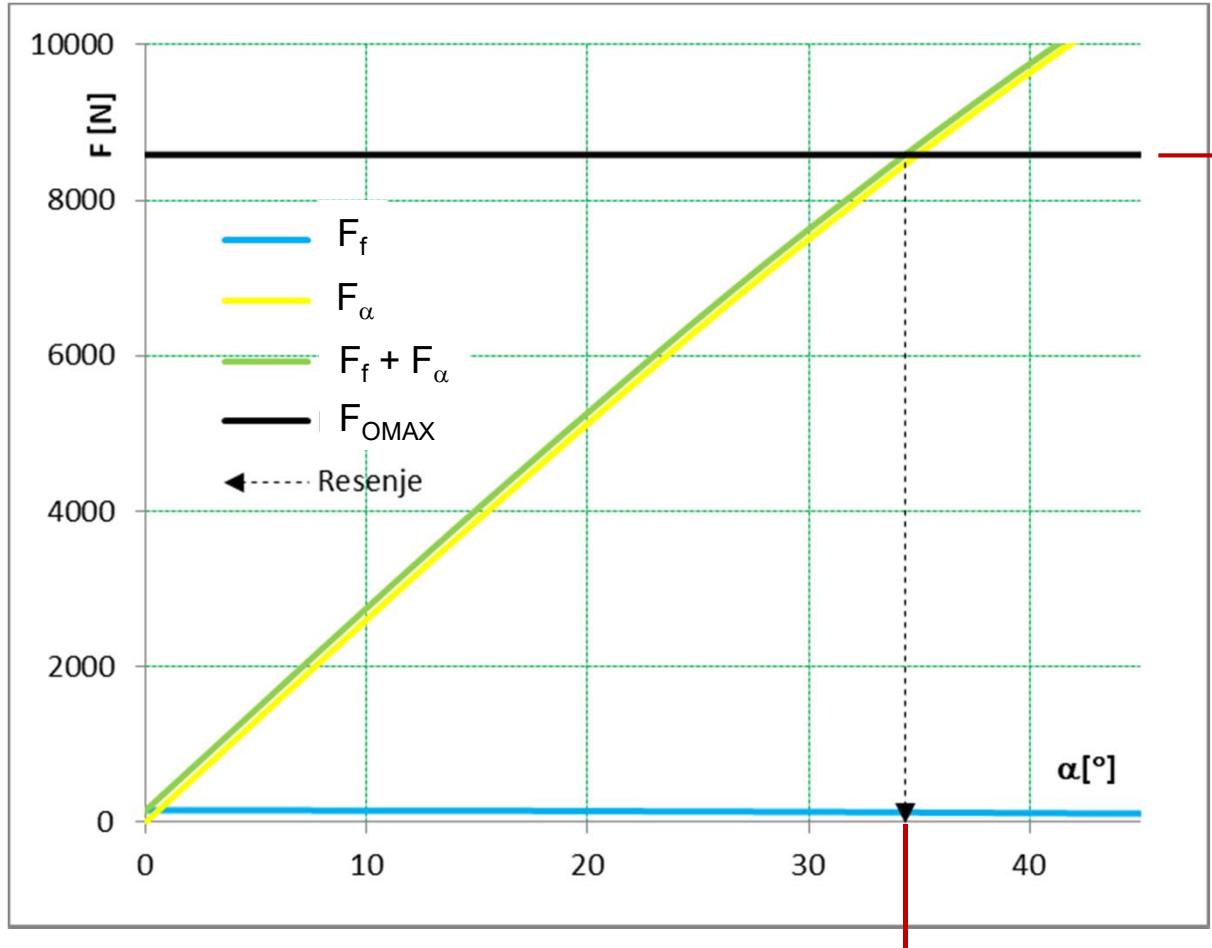
- Savladavanje maksimalnog uspona biće omogućeno pri maksimalnoj vrednosti obimne sile, dakle:

$$F_{OMAX} = f \cdot G \cdot \cos\alpha_{MAX} + G \cdot \sin\alpha_{MAX}$$

- Jednačina se može rešiti grafičkim putem (presek horizontalne linije F_{OMAX} i krive $f \cdot G \cdot \cos\alpha + G \cdot \sin\alpha$ u funkciji ugla α) ili nekim numeričkim postupkom (*npr. funkcija "Goal Seek" u programu MS Office Excel*)

Maksimalni uspon u prvom stepenu prenosa

$$F_O = F_f + F_\alpha = f \cdot G \cdot \cos\alpha + G \cdot \sin\alpha$$



$$F_{OMAX} = \frac{M_{MAX} \cdot i_{GP} \cdot i_I \cdot \eta_{TR}}{r_D}$$

Rešenje:
 $\alpha_{MAX} = 34,35^\circ$
odnosno:
 $U_{MAX} = 68,35\%$

Maksimalni uspon u prvom stepenu prenosa

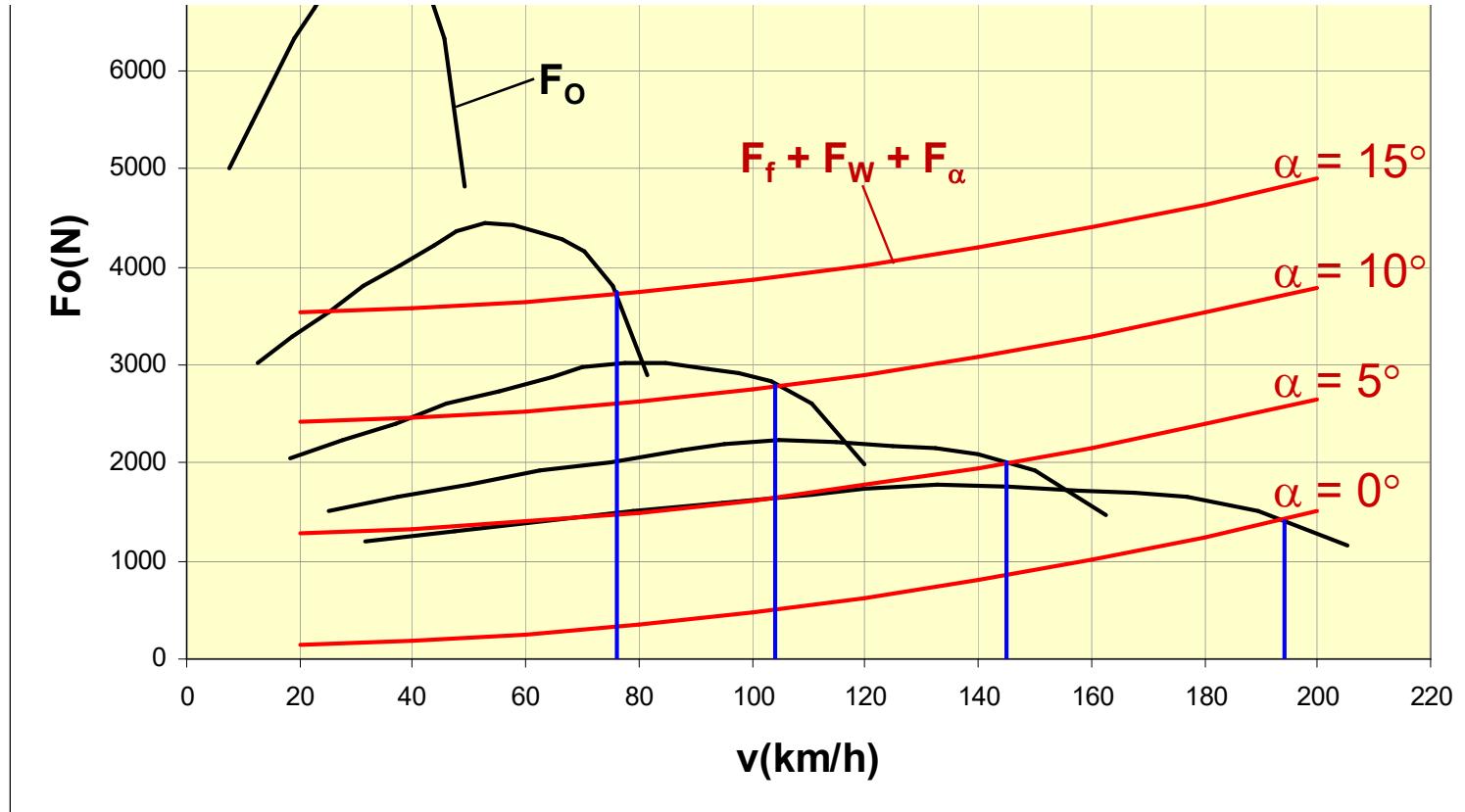
Komentari:

- Mogućnost kretanja vozila na usponu prema dobijenom rešenju (veoma velika vrednost!) obavezno treba proveriti i sa stanovišta prijanjanja pogonskih pneumatika za podlogu.
- Na dijagramu se vidi da, očekivano, sila otpora uspona F_α po redu veličine mnogostruko premašuje silu otpora kotrljanja F_f , koja zahvaljujući tome može da bude zanemarena bez vidnog uticaja na tačnost rešenja; ovo omogućava da se problem, umesto na prikazani način, veoma jednostavno reši analitičkim putem:

$$F_{OMAX} \approx G \cdot \sin \alpha_{MAX} \Rightarrow \alpha_{MAX} = \arcsin(F_{OMAX}/G)$$

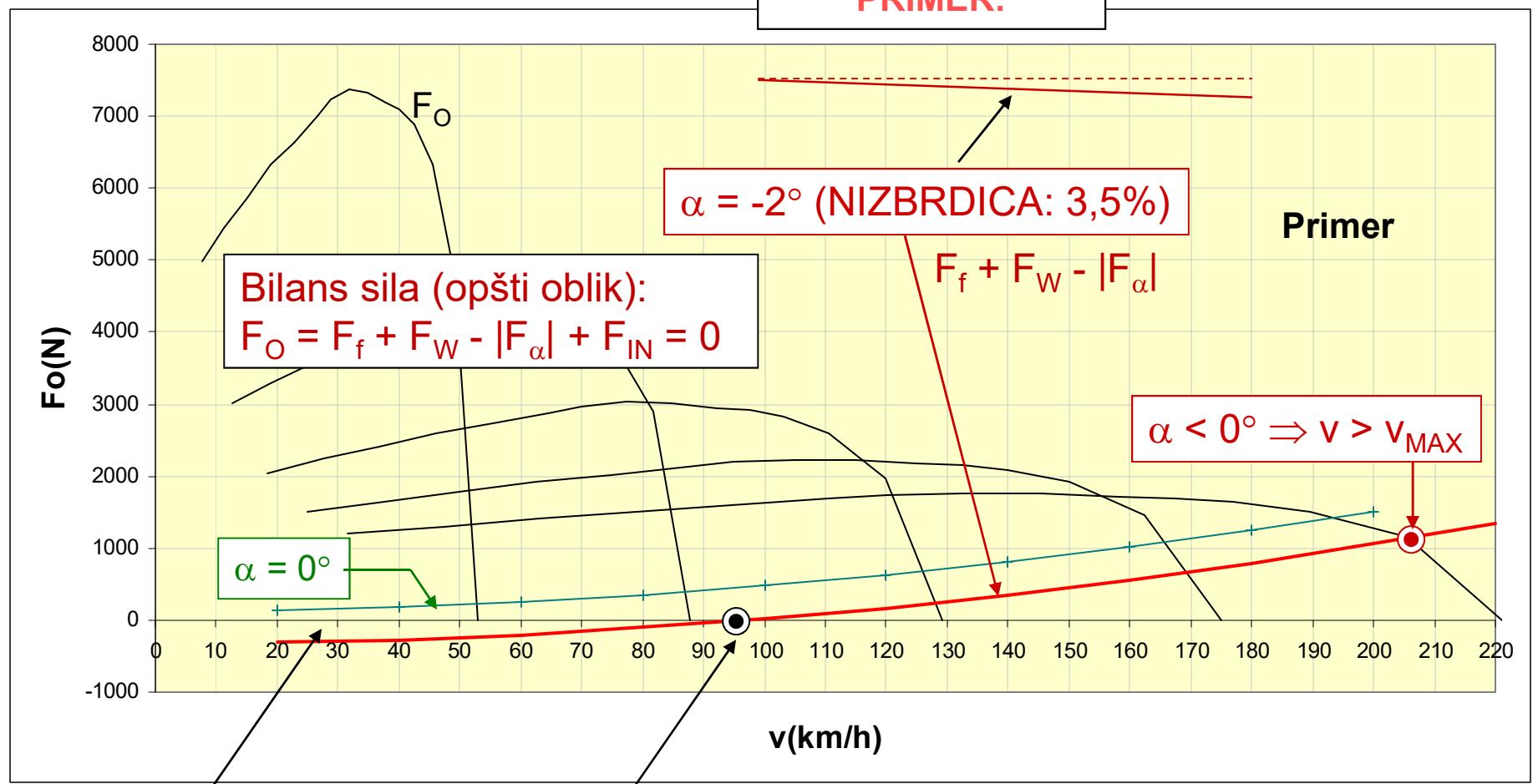
Analiza kretanja na usponu pomoću vučnog dijagrama

- Jednostavan način da se analiziraju kapaciteti vozila za kretanje pri različitim vrednostima uzdužnog nagiba je da se u VDK unese familija krivih otpora kretanja za različite uspone.
- Grafički/vizuelno se dobijaju informacije ili mogućnost procene o mogućnosti savladavanja uspona u pojedinim stepenima prenosa, višku vučne sile raspoloživom za ubrzavanje ili maksimalnim brzinama kretanja za određene vrednosti uspona.



Kretanje na nizbrdici

PRIMER:



“Negativni otpor”
 (sila F_α deluje u smeru kretanja)

Brzina slobodnog kretanja nizbrdo - režim bez pogona i bez kočenja; $F_O = F_f + F_w - |F_\alpha| = 0$