

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa menjača

- Potrebno je izabrati broj prenosnih odnosa i njihove vrednosti
- Uskladiti karakteristike motora i menjača! (“Powertrain Matching”)

Ciljevi:

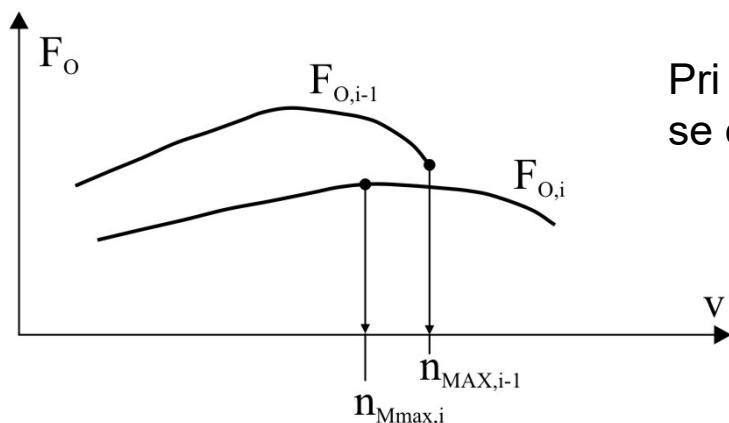
- Performanse vozila:
 - Što bolje ubrzanje
 - Što manja potrošnja goriva
 - Mogućnost polaska na uzbrdici i drugim otežanim uslovima
 - Mogućnost dostizanja maksimalne brzine
- Ostali zahtevi: buka, vibracije, jednostavnost rukovanja...

Protivrečnost zahteva – potreba za usklađivanjem

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa menjača

Minimalan potreban broj stepeni prenosa:

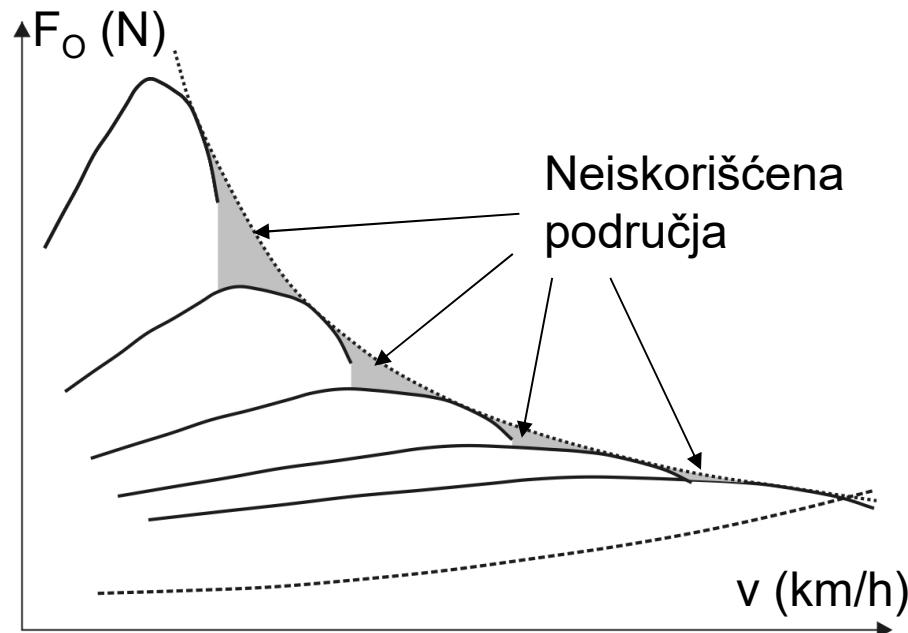
- Određen odnosom širine radnog intervala motora i vozila
- U praksi obično više
- Preklapanje područja:
 - obezbeđenje elastičnosti (promena naviše)
 - zaštita motora od prevelikih brojeva obrtaja (promena naniže)



Pri promeni stepena prenosa naniže pri $n_{M_{max}}$, mora se obezbititi da bude u nižem stepenu $n < n_{MAX}$

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa menjača

Neiskorišćena područja treba da budu što manja:



Koliko treba da bude stepeni prenosa?

- Sa stanovišta približavanja idealnoj hiperboli: što više – to bolje
- Ograničenja u praksi: konstrukcija, dimenzije, masa, pouzdanost, način upravljanja, vek...

Osnovne karakteristike transformacije parametara snage

- PRENOSNI ODNOSI U PRVOM I POSLEDNJEM STEPENU PRENOSA – i_{MIN} , i_{MAX}
- OPSEG – odnos $i_{\text{MAX}} / i_{\text{MIN}}$
- UKUPAN BROJ STEPENI PRENOSA
- ZAKONITOST RASPODELE VREDNOSTI PRENOSNIH ODNOSA U MEĐUSTEPENIMA – i_k , $k = 2,3,4\dots$

Postupak izbora prenosnih odnosa

1. Izračunavanje prema osnovnim kriterijumima
2. Usklađivanje stvarnih vrednosti sa konstruktivnim ograničenjima; optimizacija prema zadatim kriterijumima (potrošnja goriva, ubrzanje...) – simulacije, laboratorijska i eksploraciona ispitivanja

Izračunavanje prema osnovnim kriterijumima, koraci:

1. prenosni odnos glavnog prenosnika
2. prenosni odnos prvog stepena menjača (F_{OMAX})
3. prenosni odnos (pret)poslednjeg stepena menjača (v_{MAX})
4. Prenosni odnosi međustepena

Izbor prenosnog odnosa glavnog prenosnika – i_{GP}

- Kriterijumi važe za $i_{TR} = i_{GP} \cdot i_m$
- Slobodan izbor za i_{GP} ; prilagođavanje stepeni menjača i_m
- Jedan mogući kriterijum: dostizanje v_{MAX} pri $i_m = 1$

$$v_{MAX} = 0,377 \cdot r_D \cdot \frac{n_{v_{MAX}}}{i_{GP} \cdot i_m}$$

$$i_m = 1 \Rightarrow$$

$$i_{GP} = 0,377 \cdot r_D \cdot \frac{n_{v_{MAX}}}{v_{MAX}}$$

Moguća alternativa: slobodan izbor brzine (npr. vrednost uobičajena za otvoren put), i izbor odgovarajućeg broja obrtaja npr. tako da motor radi sa optimalnim g_E

- Treba poznavati v_{MAX}
 - Treba izabrati n_{Vmax}
-
- $n_{Vmax} < n_{Pmax}$
 $n_{Vmax} = n_{Pmax}$
 $n_{Vmax} > n_{Pmax}$

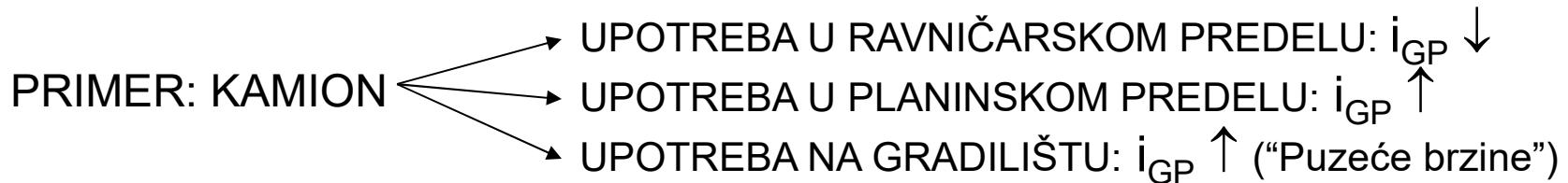
Izbor prenosnog odnosa glavnog prenosnika – i_{GP}

$$i_{GP} = 0,377 \cdot r_D \cdot \frac{n_{v_{MAX}}}{v_{MAX}}$$

Promena vrednosti i_{GP} : modifikacija performansi vozila

$i_{GP} \uparrow \Rightarrow$ "kraći" prenosni odnos \Rightarrow veća vučna sila, bolje savlađivanje uzbrdice, bolja ubrzanja

$i_{GP} \downarrow \Rightarrow$ "duži" prenosni odnos \Rightarrow potencijalno veća maksimalna brzina, manji broj obrtaja motora \rightarrow manja buka, povoljnije opterećenje motora \rightarrow manja potrošnja goriva



Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

Kriterijum: zadata obimna sila na točku

Npr: savlađivanje maksimalnog uspona pri polasku sa potpuno opterećenim vozilom

Ograničenje: uslovi prijanjanja – mogućnost realizacije vučne sile

Napomena: kod određenih vrsta vozila može postojati potreba za "puzećim" brzinama
→ manevrisanje na malom prostoru, savlađivanje izraženih neravnina i sl.

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



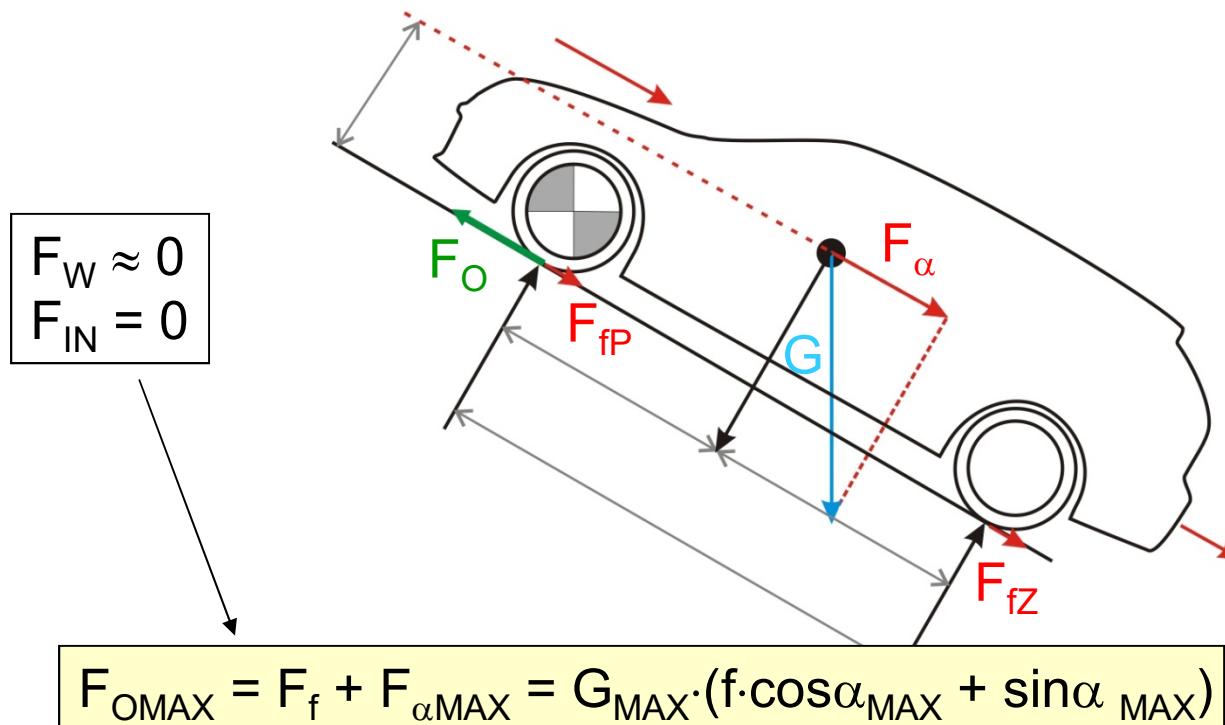
$$i_I = \frac{r_D \cdot F_{OMAX}}{i_{GP} \cdot \eta_{TR} \cdot M_{MAX}}$$



Koliko je F_{OMAX} ?

Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

Kriterijum za definisanje vrednosti F_{OMAX} :
savlađivanje maksimalnog uspona pri potpuno opterećenom vozilu
→ Želimo što veće α_{MAX} za G_{MAX}

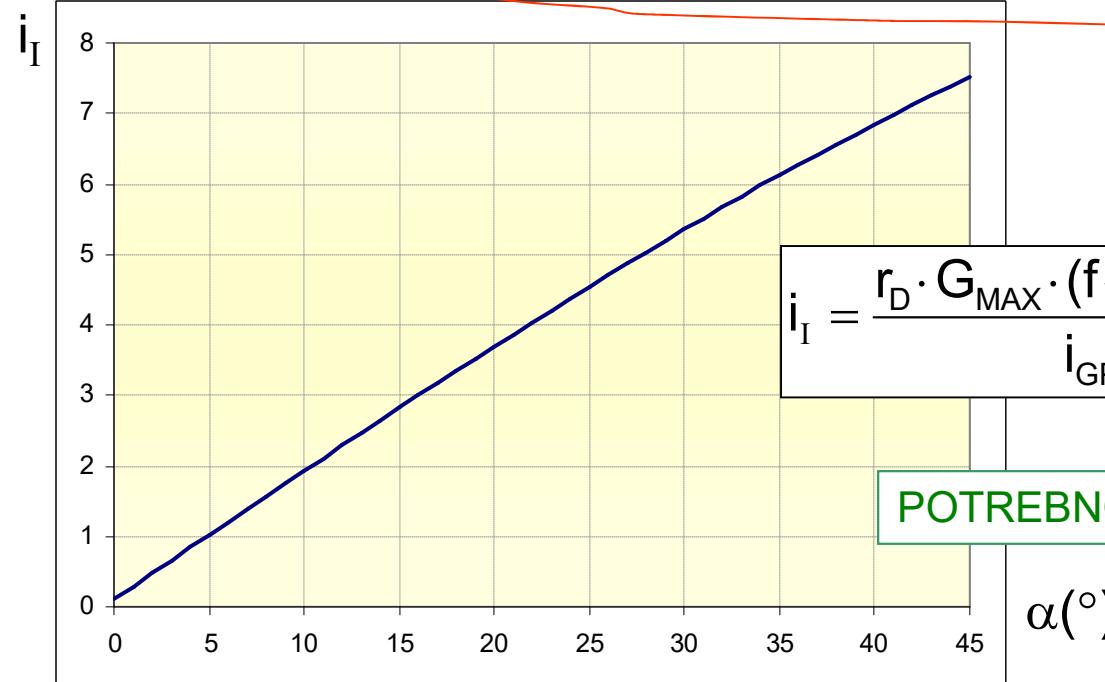


Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

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

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

$$F_{OMAX} = G_{MAX} \cdot (f \cdot \cos \alpha_{MAX} + \sin \alpha_{MAX})$$



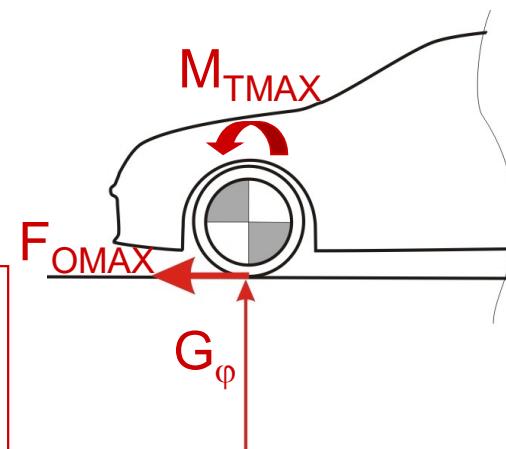
Da bi se povećala maksimalna obimna sila raspoloživa sa stanovišta M_{MAX} , a time i α_{MAX} , treba povećati prenosni odnos.

Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

Prijanjanje – mera mogućnosti za prenošenje horizontalne sile između točka i podlage

G_φ - vertikalno opterećenje pogonske osovine
 φ - koeficijent adhezije (prijanjanja)

$$F_{O\text{MAX},\varphi} = G_\varphi \cdot \varphi_{\text{MAX}} \rightarrow \text{OBIMNA SILA KOJU JE MOGUĆE REALIZOVATI SA STANOVIŠTA PRIJANJANJA}$$



$$M_T = F_O \cdot r_D$$

$$M_{T\text{MAX},\varphi} = F_{O\text{MAX},\varphi} \cdot r_D \rightarrow \text{DALJE POVEĆANJE NIJE MOGUĆE!}$$

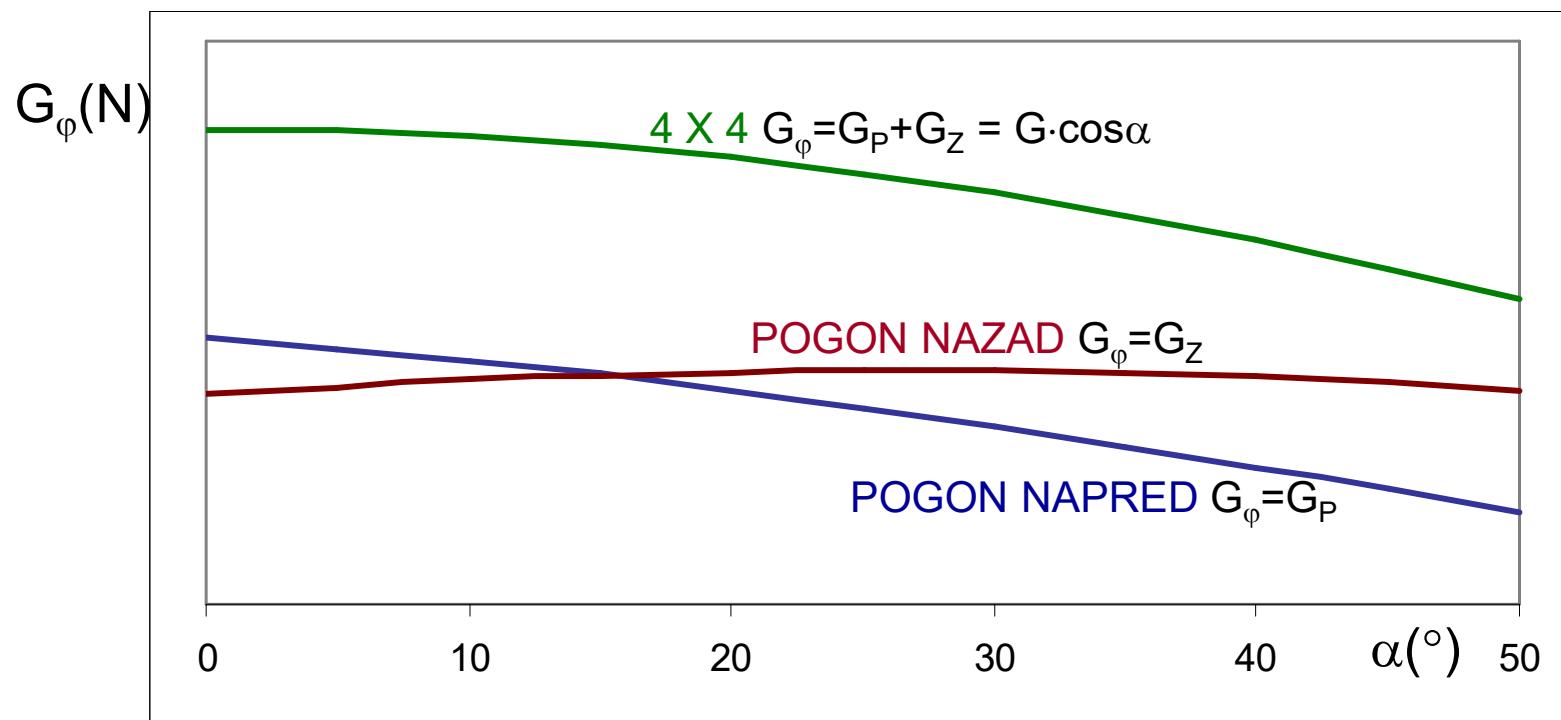
Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

G_φ - vertikalno opterećenje pogonske osovine
("adheziona težina")

$$G_p = \frac{l_z}{l} \cdot G \cdot \cos\alpha - \frac{h_T}{l} \cdot G \cdot \sin\alpha$$

$$G_z = \frac{l_p}{l} \cdot G \cdot \cos\alpha + \frac{h_T}{l} \cdot G \cdot \sin\alpha$$

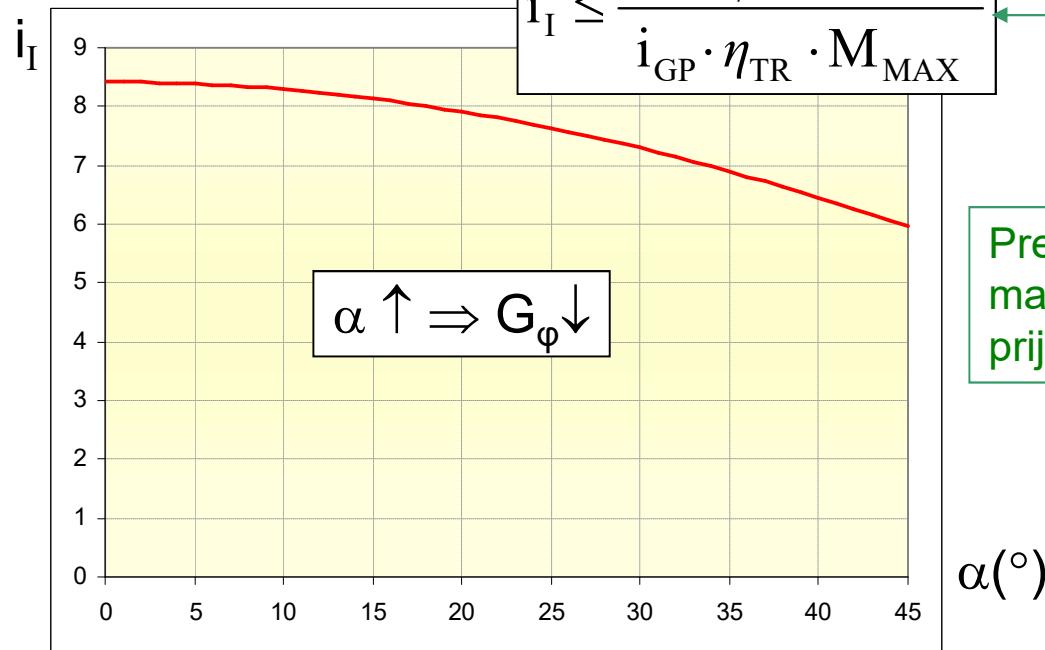
Zavisnost adhezione težine od nagiba podloge



Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

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

$$F_{OMAX} = G_\varphi(\alpha) \cdot \varphi_{MAX}$$



Prenosni odnos koji omogućava maksimalnu obimnu силу sa stanovišta prijanjanja (primer: prednji pogon)

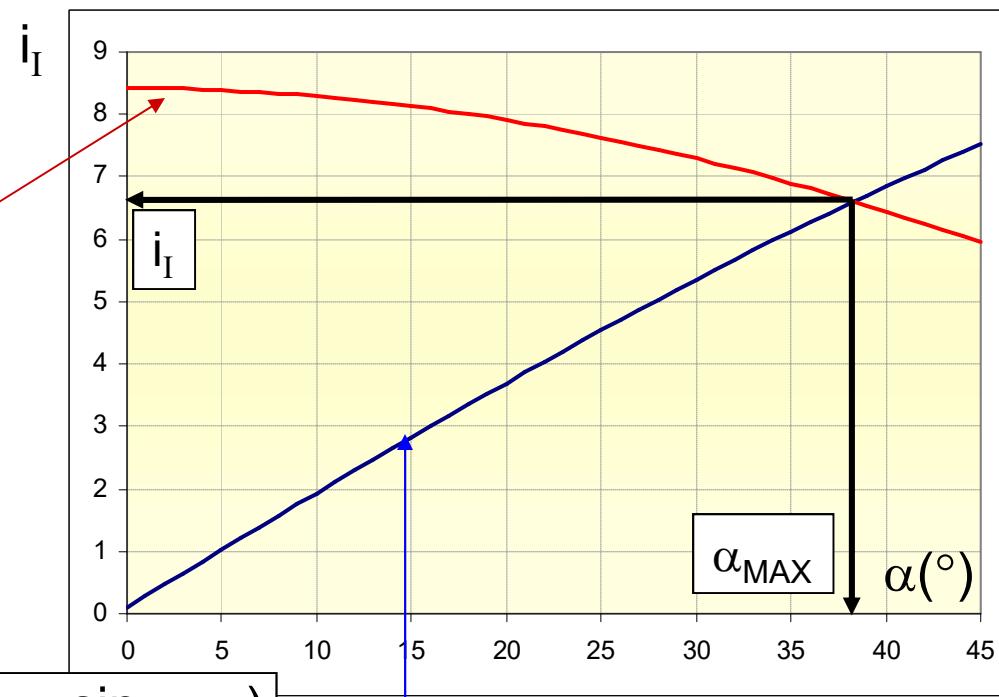
Izbor prenosnog odnosa prvog stepena menjača – i_I

Kriterijum proklizavanja
pogonskog točka:

$$i_I \leq \frac{r_D \cdot G_\varphi \cdot \varphi_{MAX}}{i_{GP} \cdot \eta_{TR} \cdot M_{MAX}}$$

Kriterijum raspoložive
obimne sile:

$$i_I \geq \frac{r_D \cdot G_{MAX} \cdot (f \cdot \cos \alpha_{MAX} + \sin \alpha_{MAX})}{i_{GP} \cdot \eta_{TR} \cdot M_{MAX}}$$



Izbor prenosnog odnosa stepena u kome se dostiže $v_{MAX} - i_{Vmax}$

$v_{MAX} \rightarrow$ poslednji / pretposlednji stepen

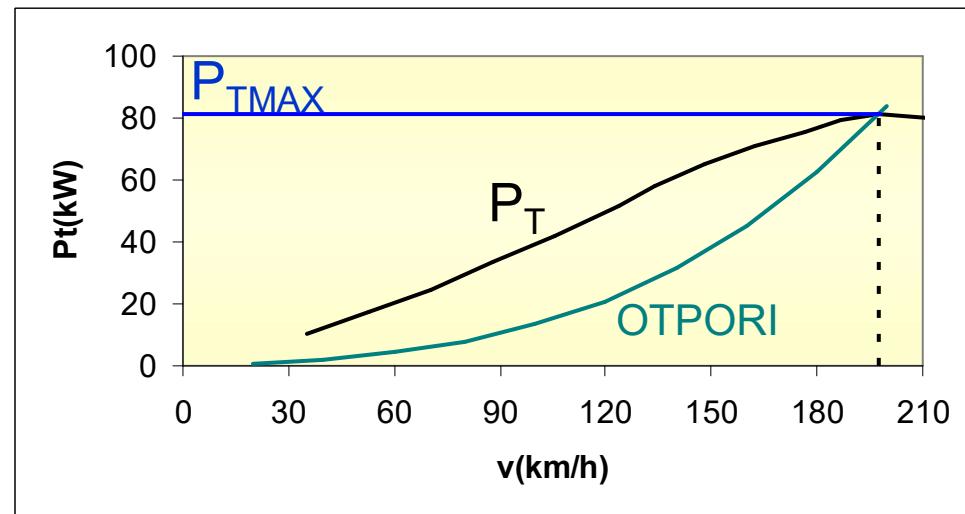
$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_m \cdot i_{GP}}$$



Za iskorišćenje maksimalne snage motora:

$$i_{VMAX} = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{P_{MAX}}}{i_{GP} \cdot v_{MAX}}$$

ZA KONAČNO IZABRANU
VREDNOST i_{GP}



Izbor prenosnog odnosa stepena u kome se dostiže $v_{MAX} - i_{Vmax}$

$$i_{v_{MAX}} = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{P_{MAX}}}{i_{GP} \cdot v_{MAX}}$$

$\Rightarrow n_{Vmax} = n_{Pmax}$ – korišćenje maksimalne snage motora za ostvarivanje maksimalne moguće brzine

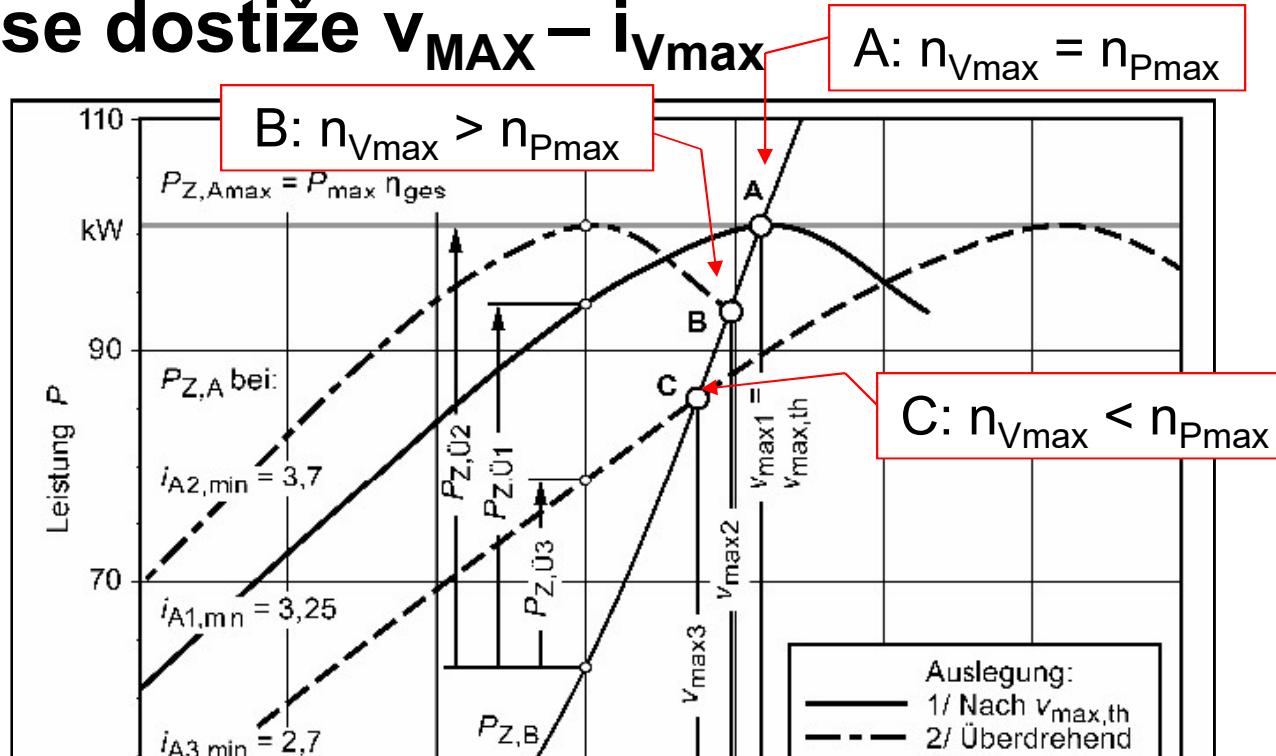
$$i_{v_{MAX}} > \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{P_{MAX}}}{i_{GP} \cdot v_{MAX}}$$

$\Rightarrow n_{Vmax} > n_{Pmax}$ – maksimalna moguća brzina nije realizovana, bolje performanse pri ubrzavanju i na uzbrdici

$$i_{v_{MAX}} < \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{P_{MAX}}}{i_{GP} \cdot v_{MAX}}$$

$\Rightarrow n_{Vmax} < n_{Pmax}$ – maksimalna moguća brzina nije realizovana, manja potrošnja goriva, manja buka

Izbor prenosnog odnosa stepena u kome se dostiže $v_{MAX} - i_{Vmax}$



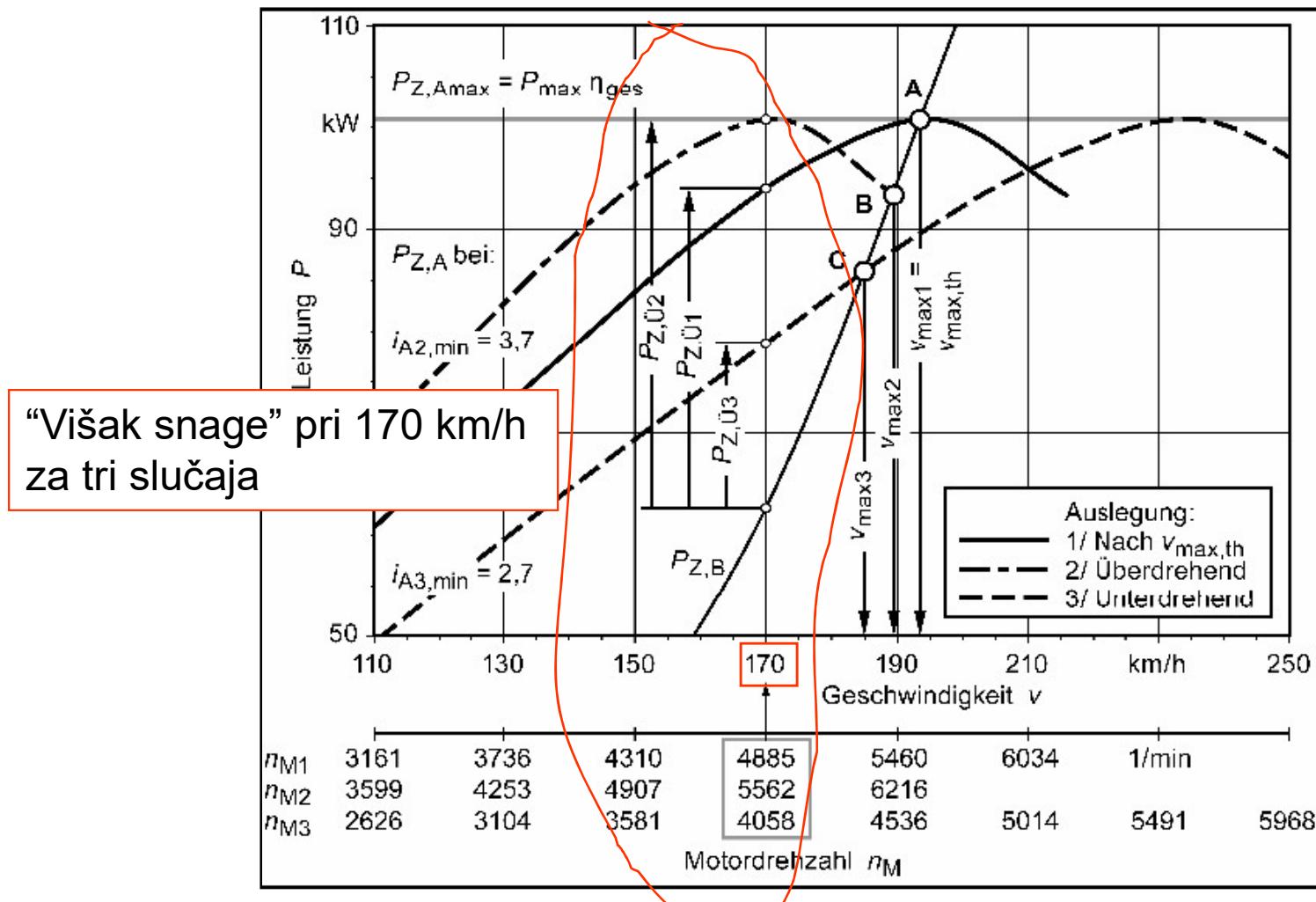
A i B → uobičajeno: pretposlednji stepen; vozila visokih performansi: poslednji (ubrzanje!)

C → uobičajeno: poslednji stepen ("štredni")

Teretna vozila → B: $n_{Vmax} = n_{MAX}$ (zakonska ograničenja) Izvor: *Fahrzeuggetriebe*

Izbor prenosnog odnosa stepena u kome se dostiže $v_{MAX} - i_{vmax}$

Izvor: *Fahrzeuggetriebe*



Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

Suprotni zahtevi: ubrzanje ↔ potrošnja goriva

Povećanje broja stepeni prenosa: manuelni menjači → pogoršanje komfora, opterećenje vozača

Usložnjavanje menjača, veća masa, veći gubici

Broj stepeni prenosa menjača

Putnička vozila: ~ 6

Kamioni, autobusi: ~ 12 ÷ 16

Traktori: ~ 20 ÷ 30 (48)

Ekonomski kriterijum:
iskorišćenje resursa motora

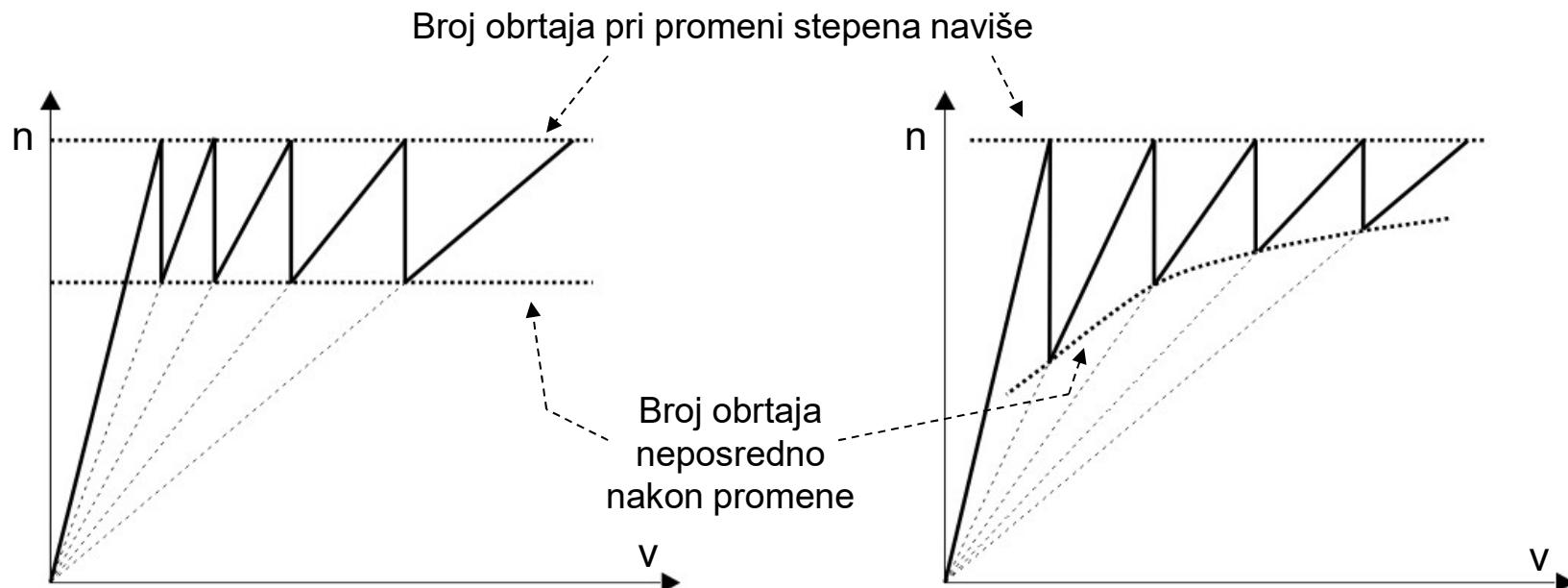
**OPŠTI ZAHTEV: STVARNU KRIVU VUČE ŠTO VIŠE
PRIBLIŽITI IDEALNOJ HIPERBOLI**

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

DVA OSNOVNA PRISTUPA:

Komercijalna vozila: $\Delta n = \text{const}$

Putnička vozila: $\Delta v \approx \text{const}$



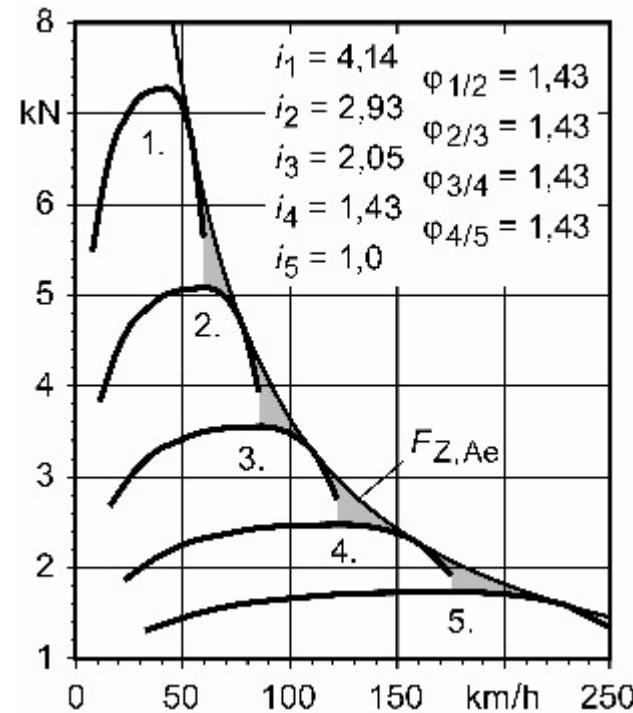
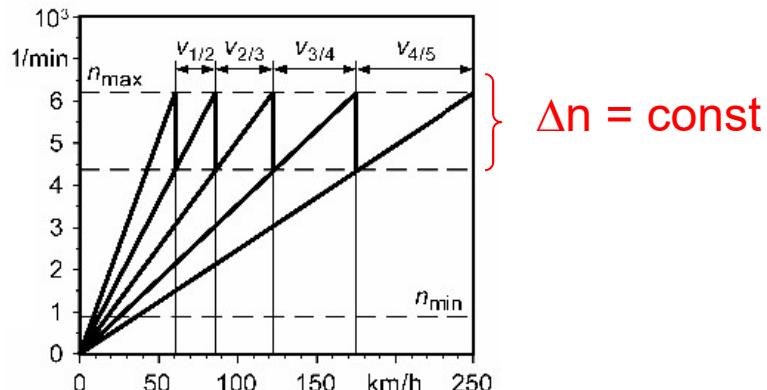
Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

Teretna vozila:

- mala snaga po jedinici mase → izražena potreba za korišćenjem maksimalnih resursa motora (tj. češće dolazi do uaheteva za korišćenjem maksimalnih performansi!)
- teži se podjednakoj raspodeli neiskorićenih područja ispod idealne hiperbole

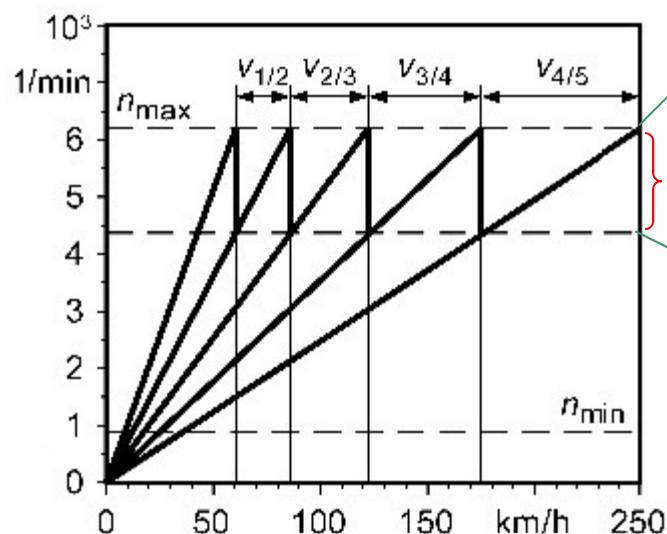
Ovakav uslov se ostvaruje kada je:

$$\Delta n = \text{const}$$



Izvor: *Fahrzeuggetriebe*

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena



$$\Delta n = n_{\max} - n_{\text{pr}} = \text{const}$$

$n_{\text{pr}} \geq n_{M\max}$

$n_{\text{pr}} - \text{nakon promene naviše}$

$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_m \cdot i_{GP}} = \text{const.} \frac{n}{i_m}$$

$$v_{\text{MAX},k-1} = \text{const.} \frac{n_{\text{MAX}}}{i_{k-1}}$$

v_{MAX} u (k-1) – tom stepenu

$$v_{\text{pr},k} = \text{const.} \frac{n_{\text{pr}}}{i_k}$$

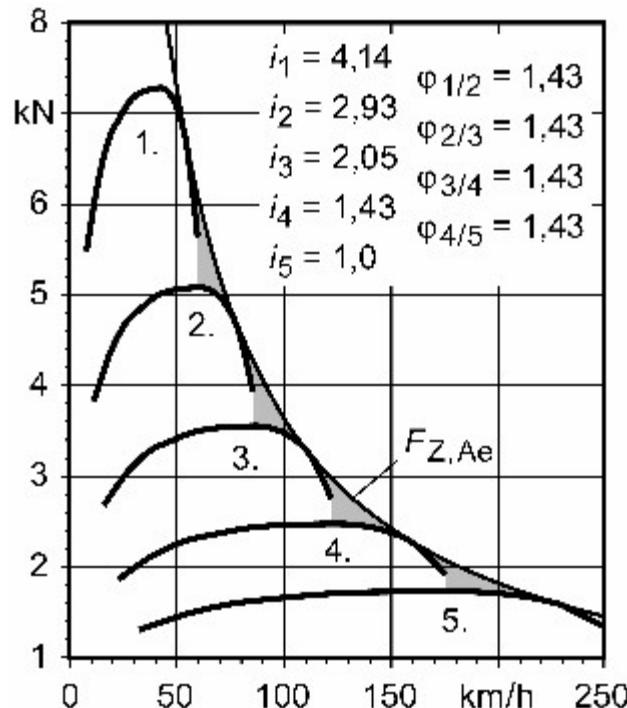
v u k – tom stepenu, neposredno nakon promene stepena naviše

$$v_{\text{MAX},k-1} = v_{\text{pr},k} \Rightarrow \frac{n_{\max}}{n_{\text{pr}}} (= \text{const}) = \frac{i_{k-1}}{i_k}$$

n_{\max} i n_{pr} imaju uvek iste vrednosti

$$\frac{i_{k-1}}{i_k} = \text{const} = q$$

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena



Izvor: *Fahrzeuggetriebe*

$$\frac{i_{k-1}}{i_k} = q = \text{const}$$

$$i_2 = \frac{i_1}{q} \quad i_3 = \frac{i_2}{q} = \frac{i_1}{q^2} \quad i_4 = \frac{i_3}{q} = \frac{i_1}{q^3} \quad \text{itd.}$$

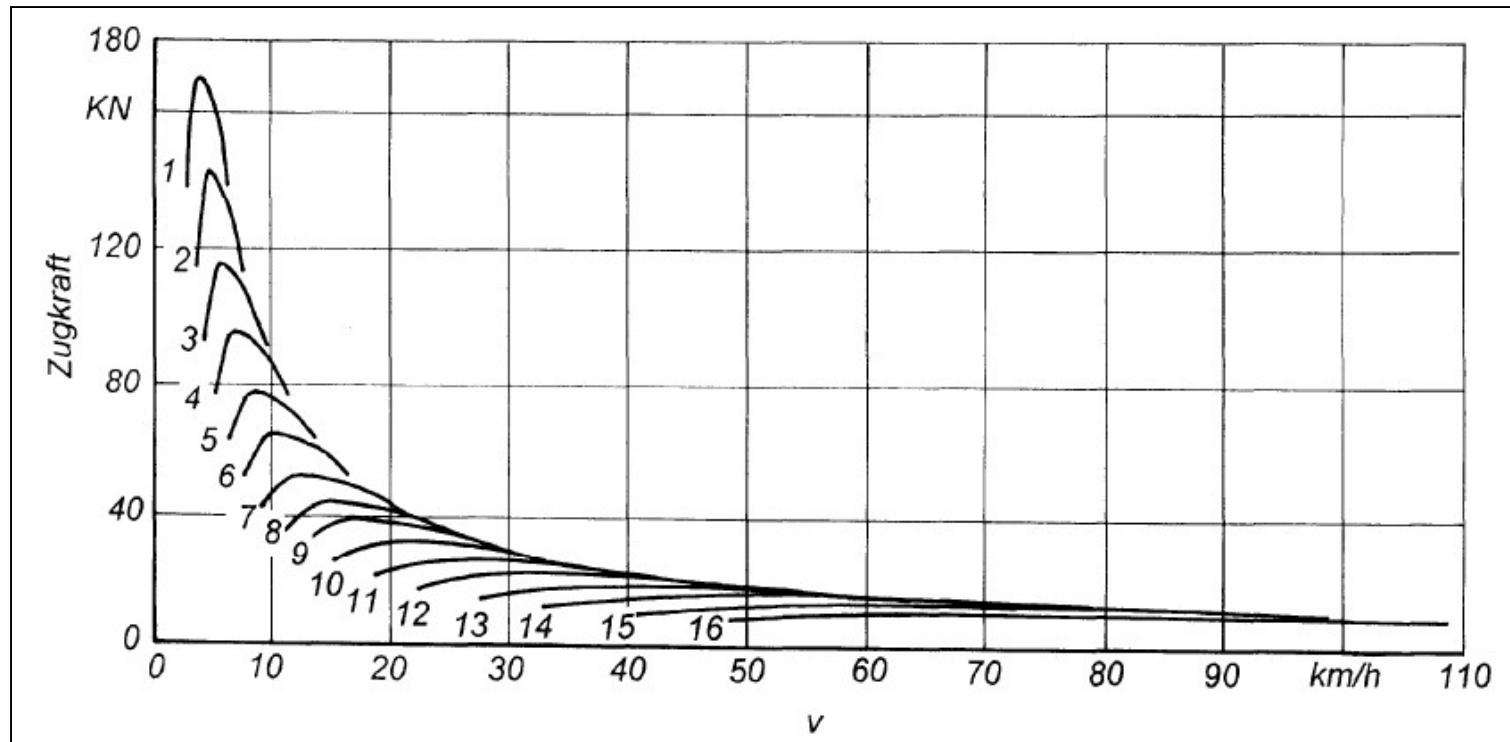
$$i_k = \frac{i_1}{q^{k-1}}$$

GEOMETRIJSKI NIZ

$$q = z^{-1} \sqrt[1]{\frac{i_1}{i_z}}$$

z – broj stepeni prenosa

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena



Primer: Vučni dijagram kamiona Mercedes-Benz 1835
(16 stepeni prenosa – 4x4)

Izvor: Nutzfahrzeugtechnik

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

Putnička vozila:

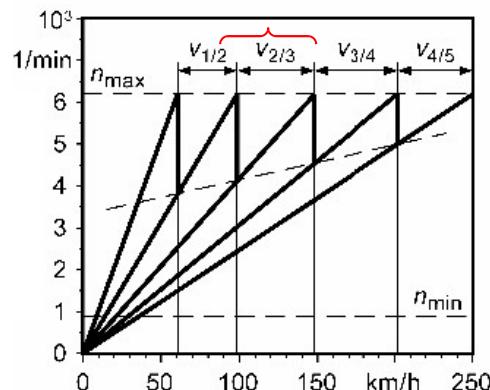
Potreba za korišćenjem maksimalnih resursa motora često nije izražena u znatnoj meri
(maksimalne performanse se u praksi ređe koriste!)

Manji je broj potrebnih stepeni prenosa

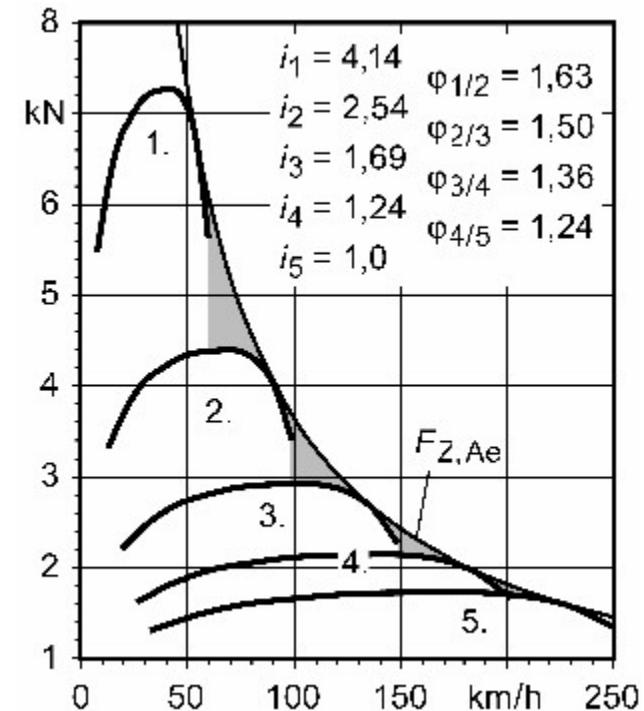
Koristi se kriterijum:

$\Delta v \sim \text{const}$

$\Delta v \approx \text{const}$



$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_m \cdot i_{GP}}$$

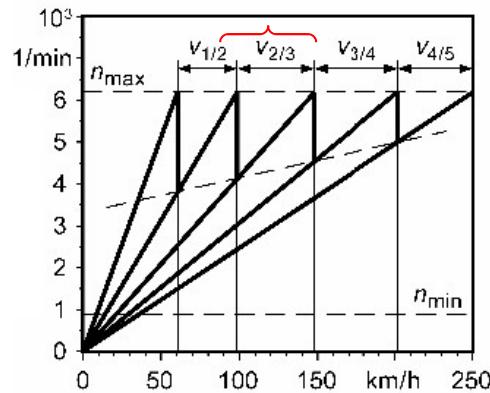


Neiskorićena područja ispod idealne hiperbole su manja za više stepene prenosa

Izvor: *Fahrzeuggetriebe*

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

$\Delta v \approx \text{const}$



$$\Delta v = \text{const} \Rightarrow v_{\text{MAX},i} - v_{\text{MAX},i-1} = \text{const}$$

$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_m \cdot i_{GP}}$$

$$\frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{\text{MAX}}}{i_{GP} \cdot i_k} - \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n_{\text{MAX}}}{i_{GP} \cdot i_{k-1}} = \text{const}$$

Izvor: *Fahrzeuggetriebe*

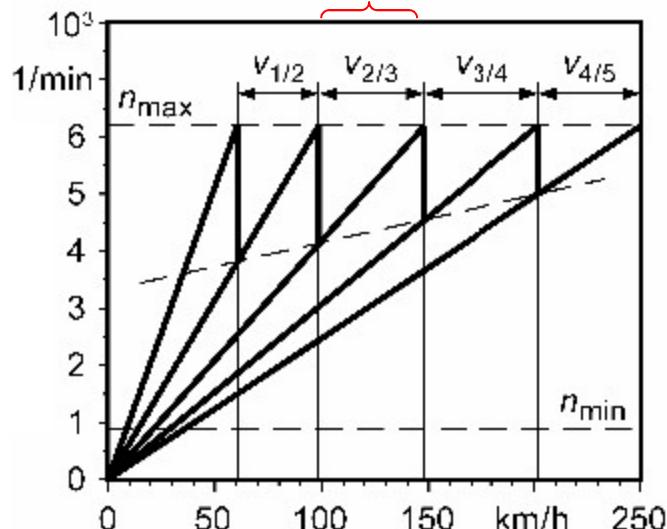
$$\frac{1}{i_k} - \frac{1}{i_{k-1}} = \text{const}$$

HARMONIJSKI NIZ

Kriterijumi za izbor prenosnih odnosa međustepena

$$\Delta v \approx \text{const}$$

→ Uslov je približno ispunjen i kada se koristi sledeći pristup:



konstante

$$\frac{i_{k-1}}{i_k} = q = q_1 \cdot q_2^n \neq \text{const}$$

$q_2 > 1$ – slobodan izbor;
 q_1 se računa iz uslova:

$$\frac{i_1}{i_z} = q_1^{z-1} \cdot q_2^{0.5(z-1)(z-2)} \Rightarrow q_1 = z^{-1} \sqrt{\frac{1}{q_2^{0.5(z-1)(z-2)}} \cdot \frac{i_1}{i_z}}$$

n – zavisi od stepena prenosa ($k_{\max} \rightarrow n=0$ $k_{\max}-1 \rightarrow n=1$; $k_{\max}-2 \rightarrow n=2$; itd.)

$$\frac{i_x}{i_z} = q_1^{z-x} \cdot q_2^{0.5(z-x)(z-x-1)}$$

→ PROGRESIVNI NIZ