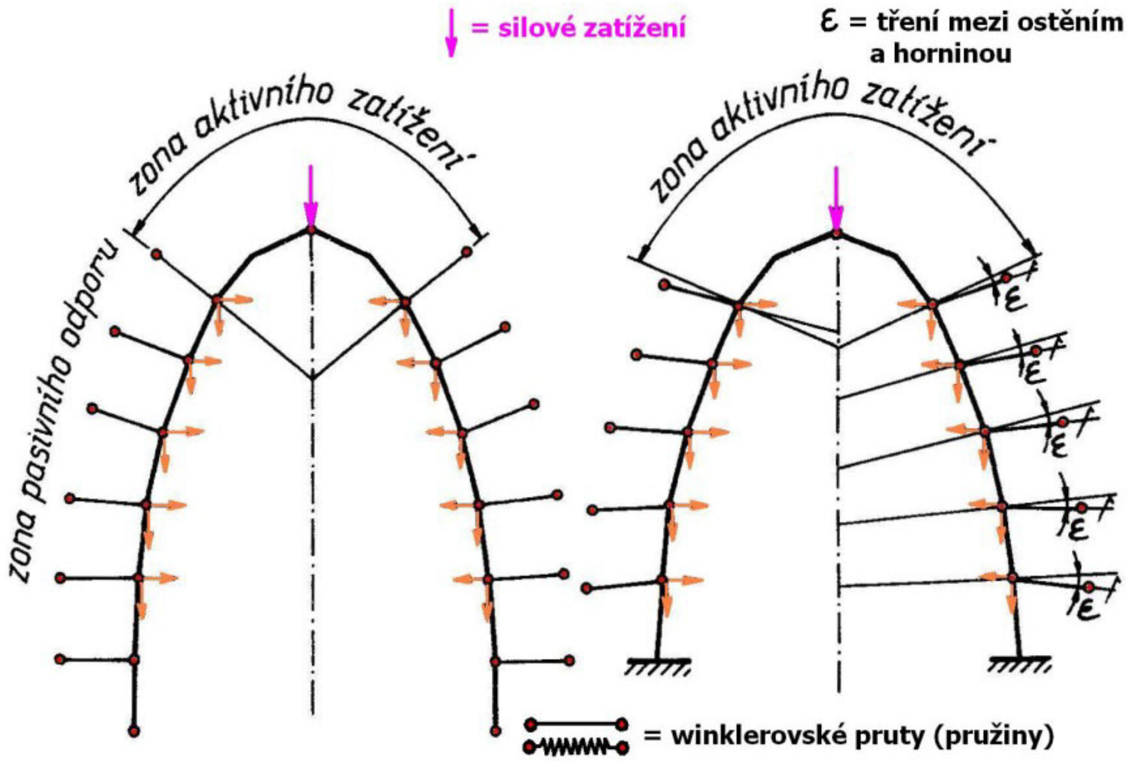
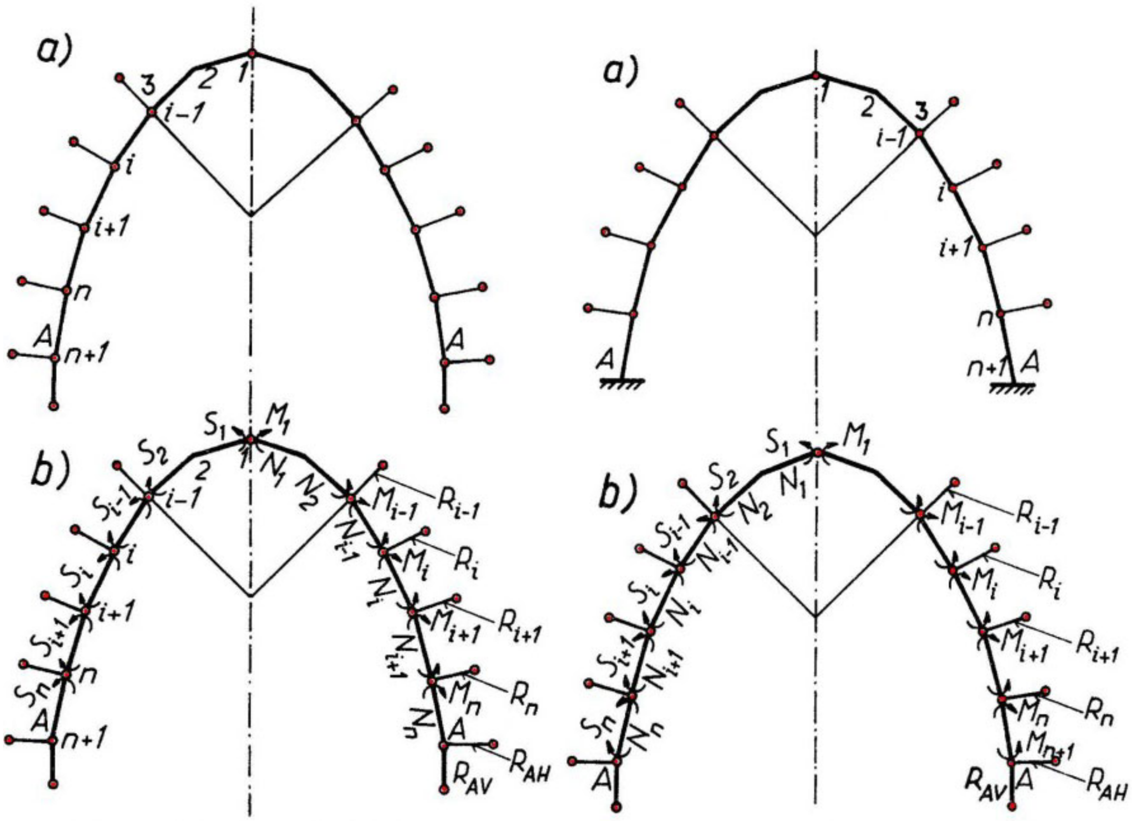
STATICKÉ ŘEŠENÍ TUNELOVÉ OBEZDÍVKY POLYGONÁLNÍ METODOU



- křivočarý tvar střednice tunelového ostění se nahradí sečnovým polygonem tak, že vrcholy náhradního polygonu leží na původní střednici; dostatečná hustota polygonu se ověří porovnávacím výpočtem jiného náhradního polygonu s větší hustotou vrcholů → budou-li rozdíly v získaných vnitřních silách u obou výpočtů dostatečně malé, je volba hustoty postačující. Pro kruhové ostění je dostatečnou náhradou polygon tvaru pravidelného 16ti úhelníka,
- problematický je rozsah aktivní zóny; jasno máme u kruhového ostění, kde zaujímá vrcholovou pravoúhlou výseč. U ostatních tvarů se stanovuje aproximačním výpočtem posunů,
- mění-li se tuhost ostění podél střednice, považuje se za konstantní vždy podél jedné strany náhradního polygonu,
- aktivní zatížení působící na konstrukci ve svislém a vodorovném směru nahradíme osamělými břemeny působícími ve vrcholech vytvořeného náhradního polygonu,
- pasivní odpor prostředí je modelován Winklerovskými pružinami, působícími rovněž ve vrcholech náhradního polygonu; pružiny jsou charakterizovány koeficientem pasivního odporu *k,*
- v části ostění deformující se do výrubu se působení těchto pružin nepředpokládá (nemůže – fungují pouze v tlaku!!),
- směr pružin = směr poloměru křivosti původní střednice (normála),
- tření mezi ostěním a horninou se modeluje nakloněním Winklerových pružin od normály křivky střednice o $\sphericalangle \varepsilon \doteq \frac{1}{2} \div \frac{1}{3}\varphi$.

▶ Vzniklá konstrukce je mnohokrát staticky neurčitá – řeší se silovou metodou.

- Základní staticky určitá soustava se vytvoří vložením kloubů do vrcholů sečnového polygonu. Počet kloubů určuje stupeň statické neurčitosti. Uvolněné vazby nahradíme momenty (v tomto případě staticky neurčité veličiny).



Klenba v patkách kloubově uložená **Klenba v patkách vetknutá**

- Schéma lze chápat jako konstrukci rozdělenou na 2 části:
  - vrcholový trojkloubový oblouk
  - kloubové polygony v bocích ostění

  tyto části na sebe navazují.
- Pro n (resp. $n+1$) neznámých (staticky neurčitých) veličin je nutno sestavit systém n (resp. $n+1$) rovnic tak, aby byla splněna základní podmínka silové metody $\longrightarrow$ Přetvoření základní soustavy staticky určité, zatížené vnějším zatížením a staticky neurčitými veličinami musí být totožné s přetvořením soustavy původní, staticky neurčité, zatížené vnějším zatížením.

n rovnic pro klenbu v patkách kloubově uloženou:

$$\delta_{11}M_1 + \delta_{12}M_2 + ... + \delta_{1k}M_k + ... + \delta_{1n}M_n + \delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}M_1 + \delta_{22}M_2 + ... + \delta_{2k}M_k + ... + \delta_{2n}M_n + \delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{i1}M_1 + \delta_{i2}M_2 + ... + \delta_{ik}M_k + ... + \delta_{in}M_n + \delta_{ip} = 0$$

$$\delta_{n1}M_1 + \delta_{n2}M_2 + ... + \delta_{nk}M_k + ... + \delta_{nn}M_n + \delta_{np} = 0$$

$n+1$ rovnic pro klenbu v patkách vetknutou:

$$\delta_{11}M_1 + \delta_{12}M_2 + ... + \delta_{1n}M_n + \delta_{1(n+1)}M_{(n+1)} + \delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}M_1 + \delta_{22}M_2 + ... + \delta_{2n}M_n + \delta_{2(n+1)}M_{(n+1)} + \delta_{2p} = 0$$

$$\vdots$$

$$\delta_{n1}M_1 + \delta_{n2}M_2 + ... + \delta_{nn}M_n + \delta_{n(n+1)}M_{(n+1)} + \delta_{np} = 0$$

$$\delta_{(n+1)1}M_1 + \delta_{(n+2)2}M_2 + ... + \delta_{(n+1)n}M_n + \delta_{(n+1)(n+1)}M_{(n+1)} + \delta_{(n+1)p} = 0$$

kde: M_k ….. ohybový moment základní soustavy ve vrcholu <u>k</u> od jednotkového zatížení,

δ_{ik} …..přetvoření ve vrcholu <u>i</u> základní soustavy od jednotkového momentu působícího ve vrcholu <u>k</u>,

δ_{ip} ……přetvoření ve vrcholu <u>i</u> od působení vnějších zatížení

- přetvoření δ_{ik} a δ_{ip} se skládají ze dvou částí; z přetvoření konstrukce a z přetvoření pružných podpěr $\longrightarrow$ obecné rovnice se stanoví z Maxwellova vzorce bez uvažování posouvajících sil:

$$\delta_{ik} = \sum \int \frac{M_i^1 M_k^1}{EI} ds + \sum \frac{N_i^1 N_k^1}{EF} s_i + \sum \frac{R^1{}_i R_k^1}{D}$$

$$\delta_{ip} = \sum \int \frac{M_i^1 M_p}{EI} ds + \sum \frac{N_i^1 N_p}{EF} s_i + \sum \frac{R^1{}_i R_p}{D}$$

kde: $M_k^1, N_k^1, M^1{}_i, N_i^1$ …ohybové momenty a normálné síly v základní soustavě od působení jednotkových momentů,

M_p, N_p …ohybové momenty a normálné síly v základní soustavě od vnějšího zatížení,

R_i^1, R_k^1 ….podporové reakce v základní soustavě od působení jednotkových momentů,

R_p ………podporové reakce v základní soustavě od vnějšího zatížení,

s_i ………..délka <u>*i-té*</u> strany polygonu,

D ………..charakteristika tuhosti každé pružné podpěry, závislá na koeficientu pasivního odporu horniny *k,* pro podpěru ve vrcholu 3 (předpokládaná hranice mezi aktivní a pasivní zónou) $D_3 = \frac{1}{2} k_3 . b . s_3$; v patkách klenby se D stanoví podle jejich konstrukčního uspořádání; pro ostatní <u>*i-té*</u> podpěry $D_i = k_i . b . \frac{s_{i-1} + s_i}{2}$

kde: k_i … koeficient pasivního odporu horniny v <u>*i-tém*</u> vrcholu polygonu

b … délka prstence klenby uvažovaná ve výpočtu (obvykle *b = 1m*)

– $\int$ a $\sum$ se počítají pro každý prut samostatně a jejich hodnoty se sčítají pro všechny pruty konstrukce. Po vyřešení systému *(n nebo n+1)* rovnic stanovíme výsledné hodnoty vnitřních sil a reakcí v *i-tém* průřezu staticky neurčité soustavy klenby:

$N_i = N_{ip} + \sum N_{ik}.M_k$ $\qquad$ $R_{AH} = R_{AHp} + \sum R_{AHk}.M_k$

$R_i = R_{ip} + \sum R_{ik}.M_k$ $\qquad$ $R_{AV} = R_{AVp} + \sum R_{AVk}.M_k$

kde M_k ohybový moment konstrukce v *k-tém* vrcholu polygonu, získaný řešením *(n nebo n+1)* rovnic,

N_i …. výsledná normálová síla v *i-tém* prutu polygonu,

R_i …. výsledná reakce v *i-tém* vrcholu polygonu,

R_{AH}, R_{AV} …. výsledná reakce v uložení A ve směru vodorovném a svislém,

N_{ip}, N_{ik} …. normálné síly v *i-tém* prutu polygonu základní soustavy, vyvolané vnějším zatížením a jednotkovým momentem, působícím ve vrcholu *k*,

M_{ip}, M_{ik} …. ohybové momenty v *i-tém* vrcholu polygonu základní soustavy, vyvolané vnějším zatížením a jednotkovým momentem, působícím ve vrcholu *k*,

R_{ip}, R_{ik} …. podporové pasivní reakce pružného prostředí v *i-tém* vrcholu polygonu základní soustavy vyvolané vnějším zatížením a jednotkovým momentem, působícím ve vrcholu *k*,

$R_{AHp}, R_{AHk}, R_{AVp}, R_{AVk}$ …. vodorovné a svislé reakce v patkách klenby vyvolané vnějším zatížením a jednotkovým momentem, působícím ve vrcholu *k*

- deformace konstrukce v jednotlivých vrcholech polygonu se určí z Winklerova předpokladu o přímé úměrnosti mezi napětím a zatlačením konstrukce do horniny:

  $(\sigma)R_i = k_i.\delta_i \Rightarrow$ posun *i-tého* vrcholu polygonu $\delta_i = \dfrac{(\sigma)R_i}{k_i}$

- reakce R_i v jednotlivých vrcholech polygonu byly stanoveny z předchozích rovnic (viz výše); vzniklý pasivní odpor σ_p se stanoví jako podíl síly reakce R_i a příslušných částí přilehlých prutů $s_{(i-1)}; s_i$: $\sigma_p = \dfrac{R_i}{\frac{1}{2}s_{i-1} + \frac{1}{2}s_i}$