1 Topografické plochy

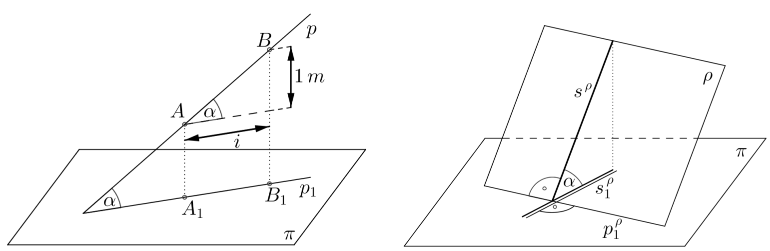
1.1 Spojení komunikace s terénem

Úvodní pojmy Je dána komunikace, která má vůči okolnímu terénu znázorněnému topografickou plochou, obecnou polohu. Osa komunikace se nazývá *niveleta*, její okraje se nazývají *korunní hrany*.

V úsecích, kde se navržená komunikace nachází nad úrovní terénu, je třeba na původní terén navézt zeminu a vytvořit *násyp* pro komunikaci. Naopak v úsecích, kde má komunikace ležet pod úrovní terénu, se určité množství zeminy musí odstranit, čímž vytvoříme *výkop* pro komunikaci.

Při návrhu komunikace se sestrojuje jak *podélný profil*, který je vedený osou komunikace, tak i *příčné profily* v promítacích rovinách kolmých k ose komunikace. Pomocí příčných profilů lze spočítat objem zeminy, kterou je třeba dodat pro konstrukci násypů, resp. odebrat, tvoříme-li výkopy. Je vhodné umístit komunikaci do terénu tak, aby množství zeminy, které získáme při výkopech, přibližně odpovídalo objemu zeminy potřebné pro násypy.

Spády násypů a výkopů V zadání úlohy na spojení cesty s terénem jsou uvedeny hodnoty s_N a s_V – spády násypů a výkopů, z nichž dopočítáme *intervaly* násypů a výkopů. Neprve však připomeňme pojmy *spád přímky* a *spád roviny*. S těmito pojmy jsme se seznámili již v kapitole „Kótované promítání“.



(a) Spád přímky (b) Spád roviny

Obrázek 1: Spád přímky a roviny

Pro spád s přímky p, která není kolmá k průmětně, platí vztah

$$s = \operatorname{tg} \alpha,$$

kde úhel α udává odchylku přímky p od průmětny. Tedy $\alpha = \sphericalangle(p, p_1)$, kde p_1 je půdorys přímky p.

Jsou-li A a B dva body na přímce p, jejichž výškový rozdíl (*ekvidistance*) je $1\,m$, pak bude $|A_1B_1| = i$, přičemž A_1, B_1 jsou průměty bodů A, B do půdorysny a i je *interval* přímky p v metrech. Tím získáme vztah

$$s = \frac{1}{i},$$

z něhož dopočítáme délku intervalu jako převrácenou hodnotu spádu:

$$i = \frac{1}{s}.$$

Jestliže chceme definovat spád roviny, místo obecné přímky p užijeme spádovou přímku s^{ρ} roviny ρ. Výše uvedené vztahy zůstávají v platnosti.

Dalším údajem, který je uveden v zadání úlohy, je *měřítko* výkresu. Je-li měřítko dáno poměrem $1 : x$, $x > 1$, znamená to, že $1\,cm$ ve výkrese odpovídá délce $x\,cm = \frac{x}{100}\,m$ ve skutečnosti. Proto $1\,m$ ve skutečnosti zakreslíme ve výkrese jako délku $\frac{100}{x}\,cm$.

Intervaly pro násypy a výkopy $(i_N = \frac{1}{s_N}, i_V = \frac{1}{s_V})$ v metrech musíme vynásobit hodnotou $\frac{100}{x}$, abychom jejich délky dostali v cm.

Korunní hrana navrženého objektu Konstrukce násypových a výkopových rovin či ploch závisí na tom, jaký tvar má korunní hrana navrženého objektu. Máme následující čtyři možnosti. Korunní hrana objektu je zadána jako:

- úsečka, která je/není vodorovná
- křivka, která leží/neleží ve vodorovné rovině

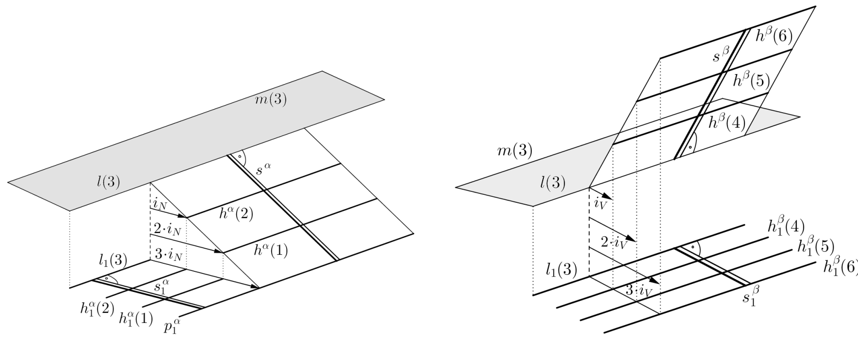
Podle tvaru korunní hrany pak volíme správnou konstrukci násypové nebo výkopové roviny či plochy.

Nejprve se podívejme na cestu, jejíž korunní hranou l je **úsečka, která je vodorovná**. Násypová nebo výkopová rovina sestrojená od této hrany má vlastnost, že její hlavní přímky jsou s korunní hranou l rovnoběžné. Spádové přímky násypové či výkopové roviny jsou na korunní hranu l kolmé. Následným promítáním do půdorysny zůstanou tyto geometrické vztahy zachovány (viz obr. 2).

Přitom si všimněme, že násypová rovina od korunní hrany klesá dolů, proto se kóty hlavních přímek směrem od korunní hrany postupně zmenšují. Naopak výkopová rovina od korunní hrany stoupá vzhůru, kóty hlavních přímek se tedy směrem od korunní hrany zvětšují.

Protože budeme v další teorii i příkladech uvažovat, že evidistance mezi hlavními přímkami násypové či výkopové roviny je $1\,m$, budou průměty hlavních přímek v půdorysně od sebe navzájem vzdáleny o hodnotu i_N resp. i_V. V konstrukci délku intervalu i_N nebo i_V v cm nanášíme na půdorys spádové přímky s_1 a získanými body pak vedeme půdorysy hlavních přímek rovnoběžně s průmětem korunní hrany l_1.

Nyní se podívejme, jak se sestrojí rovina daného spádu procházející přímkou, která není rovnoběžná s půdorysnou. Tuto konstrukci využijeme v případě stoupající korunní hrany ležící v přímce.



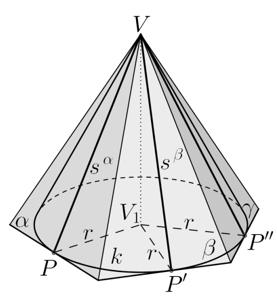
(a) Násypová rovina

(b) Výkopová rovina

Obrázek 2: Vodorovná korunní hrana ležící v přímce

Rovina daného spádu procházející přímkou Uvažujme množinu všech přímek v prostoru, které mají stejný spád s (neboli mají stejnou odchylku φ od půdorysny) a procházejí společným bodem V. Tyto přímky vytvářejí *spádový kužel* s vrcholem V, který protíná půdorysnu v kružnici k o poloměru $r = \frac{|V_1 V|}{s}$, kde V_1 je půdorys vrcholu V. Na kružnici k leží všechny stopníky $P, P', P'' \dots$ uvažovaných přímek (viz obr.).

Jestliže budeme površku PV spádového kužele považovat za spádovou přímku s^α roviny α, bude mít rovina α také zadaný spád s (tj. $\sphericalangle(\alpha,\pi) = \varphi$) a její půdorysná stopa bude tečnou kružnice k s bodem dotyku P. Můžeme také říci, že spádový kužel je *obálkou* všech rovin daného spádu procházejících společným bodem V.

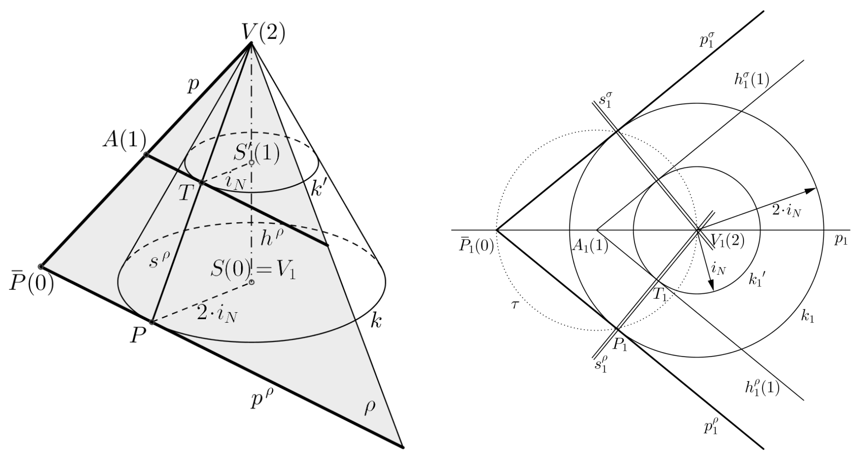


Nyní přidejme podmínku, že rovina α daného spádu má procházet zadanou přímkou $p = AV$. Na přímce p leží její stopník $\overline{P}$, který musí současně ležet na půdorysné stopě p^α. Konstrukci tedy provedeme tak, že z bodu $\overline{P}$ vedeme tečnu ke kružnici $k = (V_1, r)$, což je půdorysná stopa roviny daného spádu.

V závislosti na vzájemné poloze bodu $\overline{P}$ a kružnice k může mít úloha 2 různá řešení ($\overline{P}$ leží vně k), právě jedno řešení ($\overline{P} \in k$) nebo žádné řešení ($\overline{P}$ je vnitřní bod k).

Příklad 1.1.1 V kótovaném promítání proložte přímkou $p = AV$, $z_A = 1$, $z_V = 2$, rovinu daného spádu $s = \frac{2}{3}$. Předpokládejte, že jednotkou je $1\,cm$.

Řešení Velikost intervalu $i = 1{,}5\,cm$. Uvažujme spádový kužel s vrcholem V, který protneme vodorovnou rovinou v kružnici k o poloměru r. Pokud bude vzdálenost této roviny od bodu V rovna k-násobku ekvidistance (tj. $k{\cdot}1\,cm$), pak bude $r = k{\cdot}i$. Jak už bylo řečeno výše, půdorysnou stopu hledané roviny získáme jako tečnu kružnice k spádového kužele v půdorysně vedenou stopníkem $\overline{P}$ přímky p. Vzhledem k $z_V = 2$ je poloměr kružnice $r = 2i = 3\,cm$. Protože má úloha dvě různá řešení, tečnami kružnice k jsou půdorysné stopy p_1^ρ a p_1^σ rovin ρ a σ. Spádová přímka roviny ρ, resp. σ, je kolmá k příslušné půdorysné stopě a můžeme ji proložit bodem V, tedy $V_1 \in s_1^\rho \perp p_1^\rho, V_1 \in s_1^\sigma \perp p_1^\sigma$.



(a) Spádový (násypový) kužel (b) Roviny daného spádu v KP

Obrázek 3: Konstrukce rovin daného spádu procházejících přímkou

Ještě poznamenejme, že místo půdorysných stop p_1^ρ a p_1^σ bychom mohli zkonstruovat hlavní přímky ve výšce 1 rovin ρ a σ. Protože je výškový rozdíl mezi vodorovnou rovinou π' ve výšce 1 a vrcholem V roven ekvidistanci $1\,cm$, protne rovina π' spádový kužel v kružnici k' s poloměrem $r' = i = 1{,}5\,cm$. Zmíněné hlavní přímky získáme jako tečny vedené z bodu $A_1(1)$ ke kružnici k_1'.

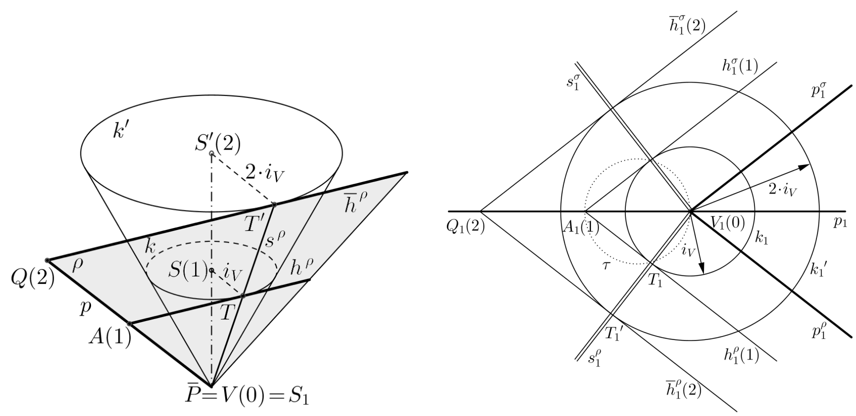
Ještě připomeňme, že pro konstrukci tečen z bodu ke kružnici užijeme Thaletovu kružnici τ! $\square$

Pokud bychom jako řešení uvažovali pouze dvě poloroviny s hraniční přímkou p, které ve směru od přímky p klesají dolů (nazveme je násypové poloroviny), můžeme spádový kužel nazvat termínem *násypový kužel*. Z řešení předchozí úlohy plyne, že násypový kužel má **vrchol** umístěn **nad** vodorovnou rovinou, která ho protíná v kružnici k.

Jestliže naopak budeme za řešení považovat dvě poloroviny, které od hraniční přímky p stoupají vzhůru (nazveme je výkopové poloroviny), budeme spádový kužel označovat jako *výkopový kužel*. Ten má **vrchol** umístěn **pod** vodorovnou rovinou, která ho protne v kružnici k.

Příklad 1.1.2 V kótovaném promítání proložte přímkou $p = AQ$, $z_A = 1$, $z_Q = 2$, výkopové poloroviny daného spádu $s = \frac{4}{3}$. V konstrukci předpokládejte, že jednotkou je $1\,cm$.

Řešení Na přímce p určíme stopník $\overline{P}$, do něhož umístíme vrchol V výkopového kužele. Vodorovná rovina π' ležící ve výšce 1 nad půdorysnou protne výkopový kužel v kružnici k s poloměrem $r = i_V = 0{,}75\,cm$.



(a) Výkopový kužel (b) Výkopové poloroviny spádu s

Obrázek 4: Konstrukce výkopových polorovin procházejících přímkou v KP

Vedeme-li z bodu $A \in p$ tečny ke kružnici k, získáme hlavní přímky rovin ρ a σ o kótě 1.

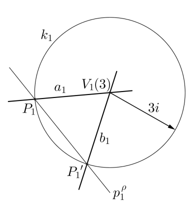
Pokud bychom vodorovnou rovinu umístili do výšky 2, protneme násypový kužel v kružnici k' s poloměrem $r' = 2i_V = 1{,}5\,cm$. Potom jsou hlavní přímky s kótou 2 rovin ρ a σ tečny kružnice k' vedené z bodu $Q \in p$.

Opět nezapomeňme při konstukci tečen z bodu ke kružnici užít Thaletovy kružnice τ!

Půdorysné stopy rovin ρ a σ jsou rovnoběžné s jejich hlavními přímkami a procházejí bodem $\overline{P} = V$, spádové přímky jsou kolmice na příslušné půdorysné stopy. □

Užitím spádového kužele vyřešíme také následující úlohu.

Příklad 1.1.3 V kótovaném promítání sestrojte přímku a daného spádu $s = \frac{3}{2}$, která leží v rovině ρ a prochází jejím bodem V, $z_V = 3$. Je zadána půdorysná stopa p_1^ρ roviny ρ. Opět předpokládejte, že jednotkou je $1\,cm$.



Řešení Interval $i = \frac{2}{3}\,cm$. Přímka a je površkou spádového kužele s vrcholem V, který půdorysna π protíná v kružnici k s poloměrem $r = 3i = 2\,cm$. Půdorysný stopník P přímky a musí ležet jak na kružnici k, tak i na půdorysné stopě p_1^ρ roviny ρ, a je tedy jejich průsečíkem.

V závislosti na vzájemné poloze k_1 a p_1^ρ může mít úloha 2 různá řešení (přímky a, b), je-li p_1^ρ je sečna kružnice k_1, právě jedno řešení, pokud p_1^ρ je tečna k_1, nebo žádné řešení, když $p_1^\rho \cap k_1 = \emptyset$. $\square$

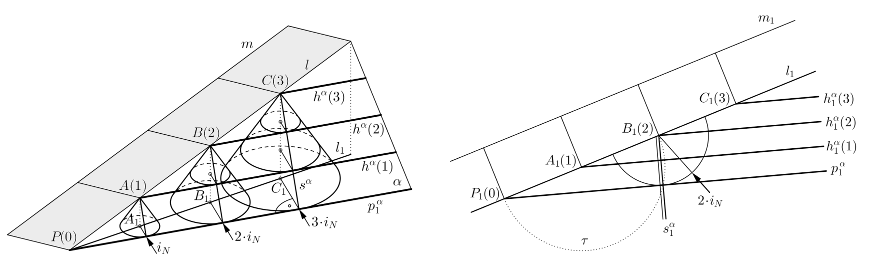
Nyní se věnujme situaci, že korunní hrana l cesty je zadána jako **úsečka, která není vodorovná**.

Obecně platí, že pro konstrukci násypové roviny α užijeme násypový kužel, jehož vrchol V umístíme nad vodorovnou rovinu, která ho pak protíná v kružnici k se středem S o poloměru $r = |SV| \cdot i_N$. Hlavní přímku násypové roviny sestrojíme jako tečnu ke kružnici k z bodu na hraně l, který leží v použité vodorovné rovině.

Dále je třeba říci, že při konstrukci v kótovaném promítání vidíme oba průměty V_1 vrcholu V a S_1 středu S kružnice jako jediný bod. To znamená, že půdorys bodu, do něhož umístíme vrchol kužele, bude zároveň středem kružnice k_1.

Je zřejmé, že v kótovaném promítání pro konstrukci násypové roviny stačí sestrojit pouze jeden násypový kužel, čímž získáme jednu hlavní přímku. Ostatní hlavní přímky jsou pak s ní rovnoběžné.

V obr. 5 je tato situace nejen názorně zakreslena v prostoru, ale vidíme i konstrukční řešení v kótovaném promítání.

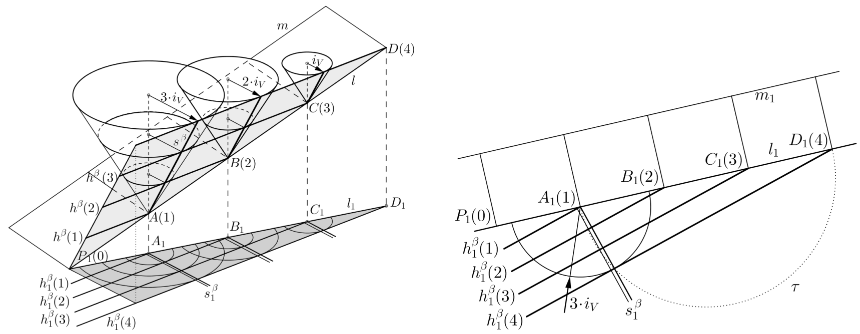


(a) Situace v prostoru (b) Násypová rovina v KP

Obrázek 5: Konstrukce násypové roviny od stoupající korunní hrany v přímce

Zcela analogicky pro konstrukci výkopové roviny užijeme výkopový kužel, jehož vrchol V umístíme pod vodorovnou rovinu, která ho pak protíná v kružnici k se středem S a poloměrem $r = |SV| \cdot i_V$. Hlavní přímku výkopové roviny opět sestrojíme jako tečnu kružnice k z bodu na korunní hraně l, který leží v použité vodorovné rovině. Při konstrukci v kótovaném promítání jsou průměty V_1 vrcholu V a S_1 středu S kružnice totožné, což vidíme v obr. 6.

Pokud korunní hrana cesty neleží v přímce, budeme místo rovin konstruovat násypové a výkopové plochy. Zatímco v rovinách ležely hlavní přímky, v násypových a výkopových plochách budeme hledat křivky ve vodorovných rovinách, které můžeme také nazvat termínem *vrstevnice*. Zde poznamenejme, že musíme rozlišovat mezi vrstenicemi terénu a vrstevnicemi těchto násypových a výkopových ploch.



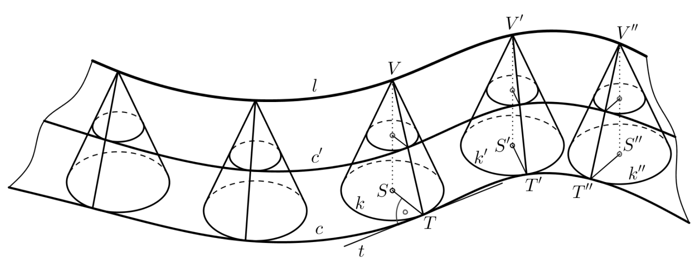
(a) Situace v prostoru

(b) Výkopová rovina v KP

Obrázek 6: Konstrukce výkopové roviny od stoupající korunní hrany v přímce

Rovněž je třeba zmínit, že zatímco u násypové roviny sestrojené od stoupající korunní hrany v přímce nám stačilo sestrojit jednu hlavní přímku pomocí jediného násypového kužele a ostatní hlavní přímky narýsovat jako rovnoběžky, u násypové plochy musíme pro přesnou konstrukci její vrstevnice sestrojit celou řadu násypových kuželů. Totéž platí i pro výkopovou rovinu a výkopovou plochu.

Nejprve se zabývejme případem, kdy je korunní hrana zadána jako **křivka, která leží ve vodorovné rovině**, od níž máme sestrojit násypovou plochu s daným spádem s.

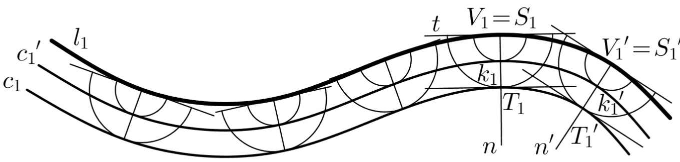


Obrázek 7: Konstrukce násypové plochy od zakřivené vodorovné korunní hrany

Do bodů na korunní hraně l umísťujeme vrcholy $V, V', \ldots$ násypových kuželů. Zvolíme vodorovnou rovinu, která tyto kužely protíná po řadě v kružnicích $k, k', \ldots$ se středy $S, S', \ldots$ a společným poloměrem $r = \frac{|SV|}{s} \ldots (*)$, přičemž SV je úsečka na ose násypového kužele.

Vrstevnice c násypové plochy, která leží ve výšce určené kótou středu S, je *obalovou křivkou* kružnic $k, k', \ldots$ násypových kuželů. Znamená to, že s každou kružnicí $k, k', \ldots$ má společný jediný bod dotyku T, resp. $T', \ldots$, v němž je tečna ke kružnici současně tečnou k vrstevnici c.

Protože se násypová plocha dotýká každého z násypových kuželů podél jeho jediné površky VT, resp. $V'T'$, ..., jedná se o *přímkovou rozvinutelnou plochu.*



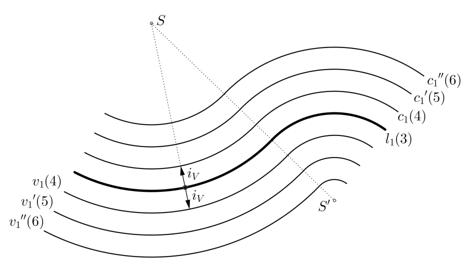
Obrázek 8: Násypová/výkopová plocha v kótovaném promítání

Při konstrukci křivky c_1 v kótovaném promítání postupujeme tak, že sestrojíme dostatečný počet kružnic $k_1, k_1', \ldots$, které vzniknou jako řezy násypových kuželů zvolenou vodorovnou rovinou. Půdorysy $S_1, S_1', \ldots$ středů kružnic přitom splývají s půdorysy vrcholů $V_1, V_1', \ldots$ příslušných násypových kuželů, což jsou body na korunní hraně l_1. Společný poloměr r každé ze sestrojovaných kružnic jsme určili z rovnice $(*)$.

Abychom našli polohy bodů $T_1, T_1', \ldots$, v nichž se křivka c_1 a kružnice k_1, $k_1', \ldots$ vzájemně dotýkají, sestrojíme nejprve v každém z bodů $V_1, V_1', \ldots$ tečnu ke křivce l_1. Její polohu stanovíme odhadem, případně užitím konstrukce pro přesné určení tečny v bodě křivky.

Poté každým z bodů $V_1, V_1', \ldots$ vedeme kolmice (normály) $n, n', \ldots$ k příslušným tečnám, které protnou kružnice $k_1, k_1', \ldots$ v hledaných bodech $T_1, T_1', \ldots$. Tento postup vychází z toho, že tečny v bodech $V_1, V_1', \ldots$ ke křivce l_1 a v bodech $T_1, T_1', \ldots$ ke kružnicím $k_1, k_1', \ldots$, tedy i ke křivce c_1, jsou vzájemně rovnoběžné.

Z výše uvedeného plyne, že křivky l_1 a c_1 jsou *ekvidistantní*, což znamená, že normálová vzdálenost mezi nimi je konstantní.



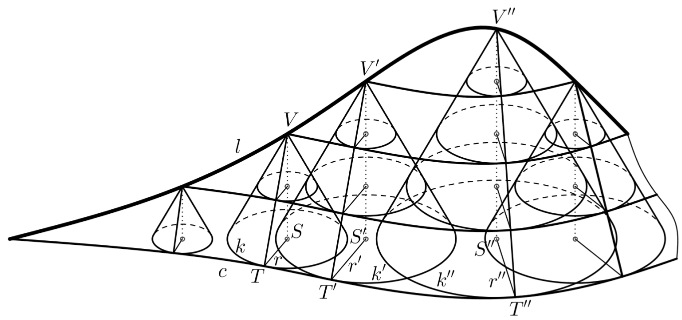
Obrázek 9: Výkopové plochy sestrojené od vodorovné hrany v oblouku v KP

Ještě uveďme, že pokud by křivka l_1 byla zadána jako kruhový oblouk, vrstevnice c_1 bude s ní soustředná kružnice.

Víme také, že výkopová plocha od vodorovné korunní hrany l stoupá vzhůru, takže se kóty vrstevnic výkopové plochy směrem od křivky l_1 zvyšují. Konstrukce vrstevnice c_1 výkopové plochy je přitom stejná jako u násypové plochy.

Dále se zabývejme situací, že korunní hrana l je zadána jako **křivka, která**

neleží ve vodorovné rovině, přičemž od ní máme sestrojit násypovou plochu daného spádu s.

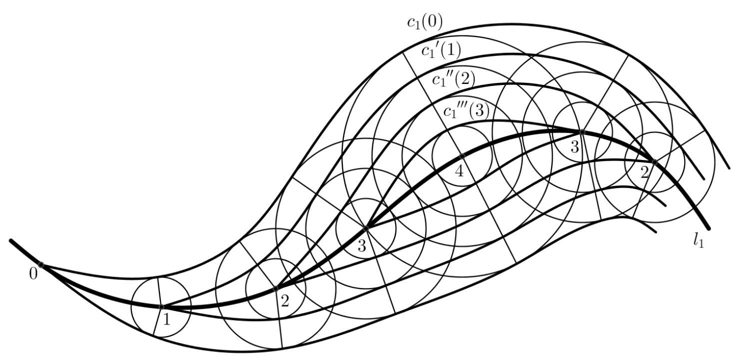


Obrázek 10: Konstrukce násypové plochy od zakřivené šikmé korunní hrany

Do jednotlivých bodů $V, V', \ldots$ na korunní hraně l opět umísťujeme vrcholy násypových kuželů, které jsou pak proťaty zvolenou vodorovnou rovinou v kružnicích $k, k', \ldots$ se středy $S, S', \ldots$. Nyní se však poloměry kružnic $k, k', \ldots$ vzájemně liší v závislosti na délkách úseček SV, resp. $S'V', \ldots$. Velikosti poloměrů kružnic $k, k', \ldots$ jsou tedy $r = \frac{|SV|}{s}$, resp. $r' = \frac{|S'V'|}{s}, \ldots$.

Vrstevnice c násypové plochy se potom dotýká každé z těchto kružnic v jediném bodě dotyku T, resp. $T', \ldots$. Jedná se tedy o obalovou křivku všech kružnic $k, k', \ldots$, které leží ve společné vodorovné rovině.

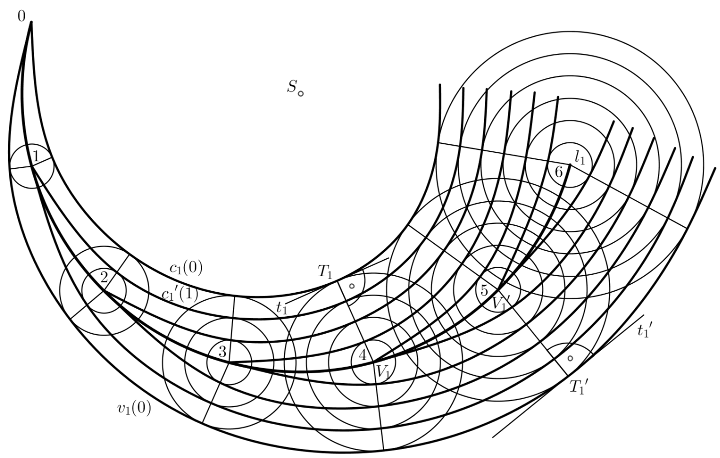
Protože platí, že se násypová plocha dotýká každého násypového kužele podél jeho jediné površky VT, resp. $V'T', \ldots$, jedná se opět o rozvinutelnou přímkovou plochu.



Obrázek 11: Násypové plochy sestrojené od šikmé hrany v oblouku v KP

V kótovaném promítání je konstrukce násypových ploch provedena v obr. 11.

V obr. 12 jsou znázorněny násypové plochy, je-li korunní hranou *šroubovice*. Šroubovici lze považovat za nejjednodušší typ prostorové křivky, neboť jejím průmětem do půdorysny je kružnice l_1 (se středem S) a poloha libovolného bodu A na šroubovici je dána vlastností, že z_A je přímo úměrná velikosti úhlu $\sphericalangle PSA_1$, kde P je bod šroubovice v půdorysně π. Z toho vyplývá, že rozvinutím šroubovice do roviny získáme část přímky. Podrobněji se vlastnostmi šroubovice budeme zabývat v kapitole „Plochy technické praxe“.



Obrázek 12: Násypové plochy sestrojené od šroubovice v KP

Spojení cesty s terénem – celkové řešení situace V další části této kapitoly využijeme předchozích informacích a budeme řešit celkovou situaci spojení cesty s terénem. Postup konstrukce sestává z následujících kroků:

1. Určíme nulovou čáru na výkrese a vyznačíme oblasti, v nichž se konstruují násypové, resp. výkopové roviny nebo plochy.

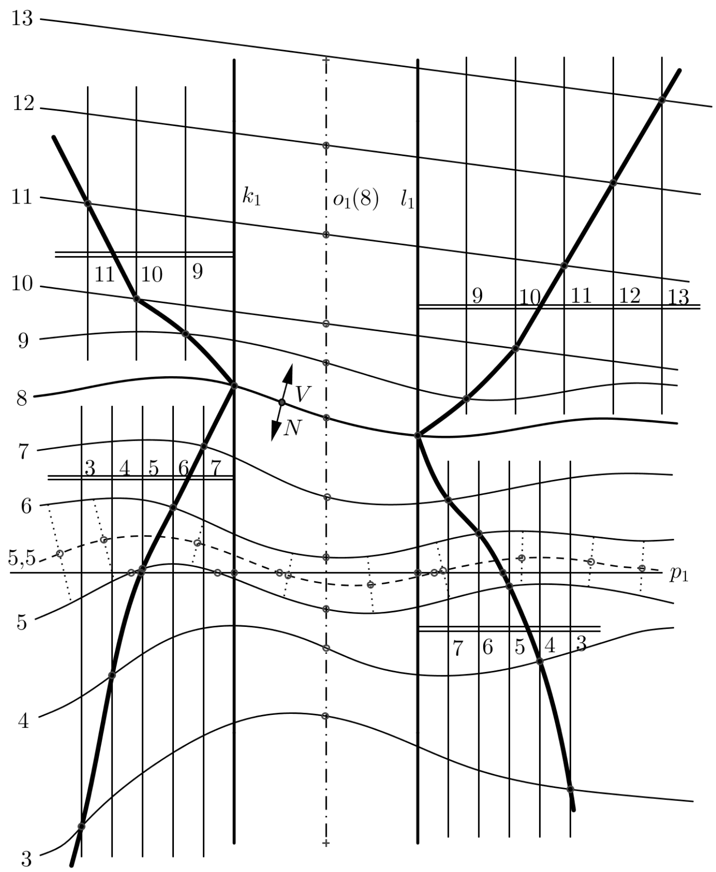
2. Podle typu korunní hrany cesty provedeme konstrukci násypových a výkopových rovin nebo ploch.

3. Sestrojíme okraje násypů a výkopů, určíme průsečnice násypových a výkopových rovin či ploch mezi sebou.

4. Sestrojíme podélný profil v ose nebo korunní hraně komunikace.

5. Zvolíme promítací roviny kolmé k ose komunikace a narýsujeme příslušné příčné profily.

Příklad 1.1.4 Sestrojte spojení vodorovné cesty s terénem. Spád násypů $s_N = 2$, spád výkopů $s_V = \frac{5}{4}$, měřítko M 1:100. Po vrstevnici 10 je terén zadaný jako obecná topografická plocha, od vrstevnice 10 výše je terén zadaný jako rovina.



Obrázek 13: Spojení cesty s terénem

Řešení Vodorovná cesta ve výšce 8 je zadaná niveletou o_1 a korunními hranami k_1 a l_1.

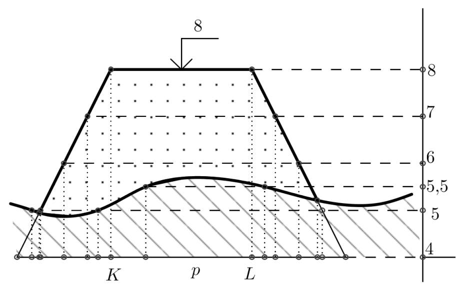
Nejprve spočítáme pro násypy a výkopy velikosti intervalů: $i_N = \frac{1}{s_N} = 0{,}5\,m$, $i_V = \frac{1}{s_V} = 0{,}8\,m$. Užitím měřítka M 1 : 100 získáme hodnoty $i_N = 0{,}5\,cm$ a $i_V = 0{,}8\,cm$.

Dále stanovíme *nulovou čáru*, což je křivka, podél níž se vzájemně dotýkají zadaná cesta s terénem. Protože cesta leží ve vodorovné rovině ve výšce 8, je nulovou čarou vrstevnice terénu ve výšce 8 . V části výkresu pod touto vrstevnicí cesta leží nad úrovní terénu a budeme zde sestrojovat násypy. V opačné části výkresu vytváříme výkopy, neboť se zde cesta nachází pod terénem.

Konstrukci násypových a výkopových rovin od levé a pravé vodorovné korunní hrany umíme provést. Průsečnice násypové roviny s terénem je křivka, kterou nazveme *okraj násypu*. Hledáme průsečíky vrstevnic terénu s hlavními přímkami násypové roviny se stejnými kótami a těmito body pak vedeme okraj násypu. Stejným způsobem získáme *okraj výkopu*.

Poznamenejme, že v oblasti, kde se výkopová rovina protíná s rovinným terénem (od kóty 10 výše), jsou okraje výkopu částí přímky. Pokud se výkopová rovina protíná s obecnou topografickou plochou (mezi kótami 8 až 10), mají okraje výkopu tvar křivky.

Okraje násypu a výkopu přitom končí ve společných bodech nulové čáry a korunních hran cesty.



Obrázek 14: Sestrojení příčného profilu

Dále je ve výkresu zadána přímka $p_1 \perp o_1$. Máme sestrojit příčný profil cesty vedený přímkou p_1. Získáme ho tak, že přímkou p_1 proložíme promítací rovinu $\alpha \perp \pi$. Rovina α vytvoří řez cestou, řezy násypovými rovinami a terénem, které vykreslíme do společného samostatného obrázku.

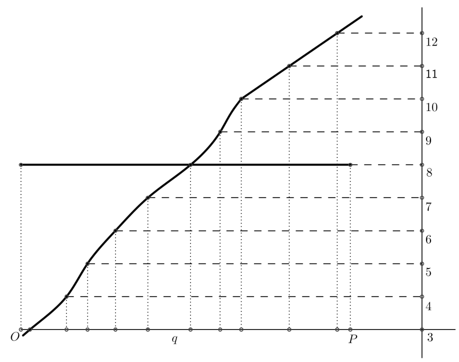
Na kolmici k vodorovné přímce p, které přiřadíme kótu 4, vyneseme výškové měřítko, přičemž víme, že $1\,m$ ve skutečnosti odpovídá ve výkresu $1\,cm$.

Cestu v příčném profilu zakreslíme tak, že nejprve na přímce p vyznačíme šířku cesty, tj. vzdálenost korunních hran k_1 a l_1, čímž získáme body $K, L \in p$. K nim přiřadíme jejich kótu 8, cestu v příčném profilu tedy vidíme jako vodorovnou úsečku ve výšce 8.

Promítací rovina α protíná násypové poloroviny sestrojené od korunních hran k a l ve dvou polopřímkách. V příčném profilu vycházejí z krajních bodů cesty. Na přímku p od bodu K, resp. L, nanášíme délky i_N a potom k bodům, které tím na p získáme, přiřazujeme jejich výšky určené kótami hlavních přímek násypových polorovin.

Nakonec v příčném profilu zakreslíme řez terénem, kterým je obecná křivka. Pro přesnější sestrojení určíme mezivrstevnici o kótě 5,5. Najdeme průsečíky přímky p_1 s vrstevnicemi o kótách 5 a 5,5. Určíme jejich vzdálenosti od korunní hrany k_1, případně l_1, které pak správně přeneseme na přímku p od bodu K, resp. L. K těmto bodům na p opět přiřazujeme jejich výšky určené kótami příslušných vrstevnic. Tím získáme body, kterými prochází řez terénem v příčném profilu.

Ještě poznamenejme, že v konstrukci průsečíky přímky p_1 s okraji násypu odpovídají v příčném profilu bodům, v nichž se řez terénem protíná s řezy násypovými polorovinami.



Obrázek 15: Sestrojení podélného profilu

Konstrukce podélného profilu v ose o_1 cesty se provádí podobně jako konstrukce příčného profilu. Výškové měřítko vynášíme na kolmici k vodorovné přímce q, které jsme přiřadili kótu 3. Vodorovnou cestu vidíme v podélném profilu jako úsečku ve výšce 8, jejíž velikost odpovídá délce zobrazovaného úseku cesty na o_1. Kolmým průmětem cesty na q je úsečka OP.

V podélném profilu zobrazíme řez terénem, kterým je po bod o kótě 10 obecná křivka a dále od bodu s kótou 10 polopřímka. V konstrukci vyznačíme průsečíky osy o_1 s vrstevnicemi terénu a jejich vzdálenosti od zvoleného krajního bodu osy o_1 správně přenášíme na přímku q od bodu O, resp. P. K těmto bodům na q pak přiřazujeme jejich výšky určené kótami příslušných vrstevnic, čímž získáme řez terénem v podélném profilu.

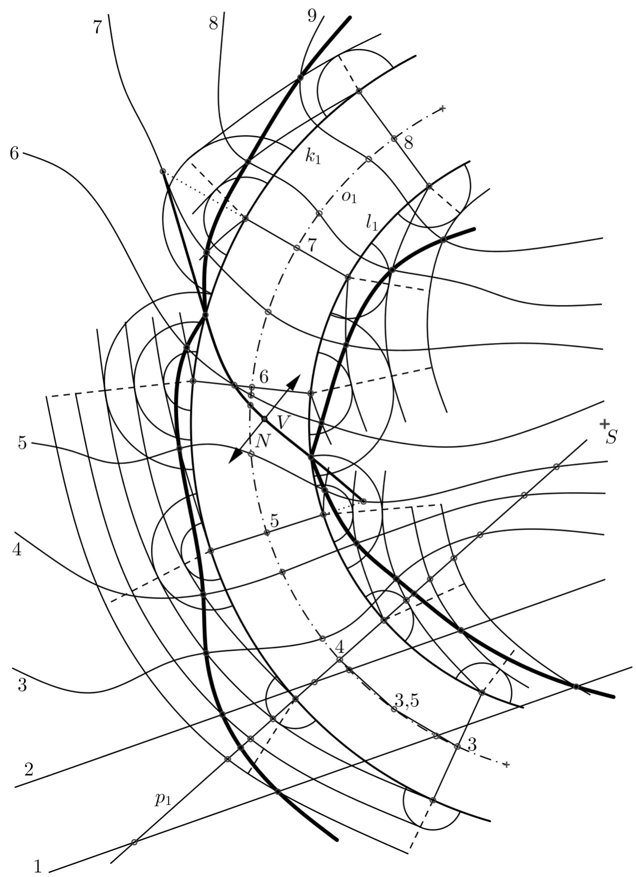
Ještě dodejme, že v konstrukci průsečíku osy o_1 s nulovou čarou odpovídá v podélném profilu průsečík cesty a řezu terénem.

Příklad 1.1.5 Sestrojte spojení stoupající cesty s terénem. Spád násypů $s_N = 2$, spád výkopů $s_V = \frac{10}{7}$, měřítko M 1 : 100. Terén je zadaný vrstevnicemi jako obecná topografická plocha.

Řešení Tento příklad řešíme podobně jako předchozí úlohu, zaměříme se proto především na odlišnosti v řešení obou úloh.

Nejprve najdeme nulovou čáru a vymezíme oblasti, kde se sestrojují násypy a kde výkopy. Přitom je $i_N = 0{,}5\,cm$, $i_V = 0{,}7\,cm$. Prodloužením vodorovných tvořících úseček cesty získáme *planýrovací plochu*, která se s terénem protíná v nulové čáře. Zde nulová čára prochází body s kótami 5, 6 a 7. Okraje násypu a výkopu končí v průsečících nulové čáry s korunními hranami cesty.

Pro stanovení oblastí násypů a výkopů uvažujme dva body se společným půdorysem, z nichž jeden leží na cestě a druhý na terénu. Uvažujme například bod na niveletě o_1, který má na cestě kótu 5, na terénu však leží mezi vrstevnicemi o kótách 4 a 5, proto je zde terén pod úrovní cesty. V oblasti pod nulovou čarou se tedy musí sestrojovat násypy. V opačné oblasti vymezené nulovou čarou



Obrázek 16: Spojení cesty s terénem

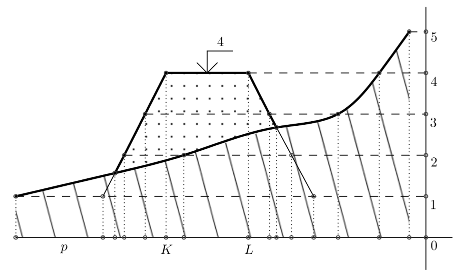
budou výkopy.

Konstrukci násypových a výkopových ploch od obou stoupajících korunních hran k a l umíme provést. Okrajem násypu je průsečnice násypové plochy s terénem, kterou získáme jako spojnici průsečíků vrstevnic násypové plochy a vrstevnic terénu s týmiž kótami. Zcela analogicky získáme okraj výkopu.

Dále máme sestrojit příčný profil vedený přímkou p_1. Cestu v příčném profilu vidíme jako vodorovnou úsečku ve výšce 4 nad základní vodorovnou přímkou p, kterou jsme umístili do výšky 0. Kolmým průmětem cesty na p je úsečka KL.

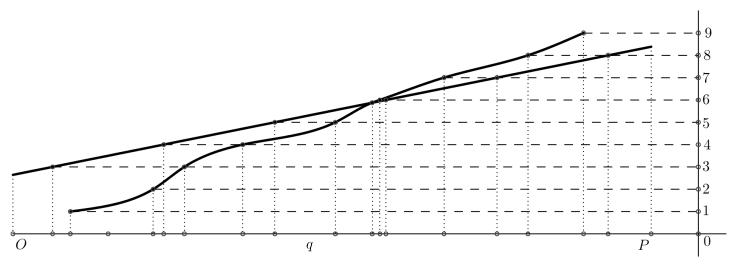
Násypové plochy vidíme v příčném profilu jako obecné křivky, které vycházejí z krajních bodů cesty. V konstrukci odměřujeme na p_1 vzálenosti vrstevnic násypových ploch od bodu na korunní hraně k, resp. l, které pak přeneseme do příčného profilu na p od bodu K, resp. L. Zdůrazněme, že se jedná délky větší než je $i_N, 2i_N, 3i_N, \ldots$. K získaným bodům na p pak přiřadíme jejich výšky.

Nakonec pomocí průsečíků p_1 a vrstevnic terénu zakreslíme v příčném profilu



Obrázek 17: Příčný profil

řez terénem. Důležitými body v příčném profilu jsou průsečíky terénu s násypovými plochami. V konstrukci odměříme na p_1 vzdálenosti okrajů násypů od korunní hrany k, resp. l. Tyto délky přeneseme do příčného profilu na p od bodu K, resp. L a výškově je umístíme na násypové plochy. Tím získáme další dva body, kterými bude v příčném profilu procházet řez terénem.



Obrázek 18: Dvakrát snížený podélný profil

Na závěr máme při měřítku $1:100$ sestrojit dvakrát snížený podélný profil vedený niveletou o_1 cesty. Na výškovém měřítku se tedy $1\,m$ ve skutečnosti zobrazí jako délka $0{,}5\,cm$.

Křivkou o_1 proložíme válcovou plochu s površkami kolmými k π, kterou rozvineme do roviny. Jelikož je niveleta o zadána jako šroubovice, získáme jejím rozvinutím do roviny část přímky.

Uvažujme na o_1 body cesty s kótami 3 a 4. Tento oblouk potřebujeme nahradit úsečkou stejné délky. Kdybychom použili přímo tětivu o_1 spojující uvedené body, dopustíme se poměrně velké nepřesnosti. Proto na o_1 nejprve určíme bod cesty o kótě 3,5 a pak vezmeme dvě tětivy spojující body o kótách 3 a 3,5 a dále 3,5 a 4. Poznamenejme, že při větším počtu tětiv s krajními body na o_1 by se nepřesnost při nahrazení oblouku úsečkou dále zmenšila.[1]

Také je zřejmé, že délka oblouku na o_1 mezi výškovými body 3 a 4 je stejná jako mezi výškovými body 4 a 5 atd. Délku nivelety o_1 přeneseme v podélném

[1] K určení délky oblouku mezi výškovými body 3 a 4 lze rovněž užít Sobotkovu rektifikaci, neboť o_1 je zadána jako část kružnice.

profilu na základní vodorovnou přímku q do úsečky OP.

Získaným bodům na q nyní přiřadíme jejich výšky. Jejich spojnicí bude část přímky, což je rozvinutá niveleta o v podélném profilu.

Dále v podélném profilu zakreslíme řez terénem. V konstrukci vyznačíme průsečíky nivelety o_1 s vrstevnicemi terénu, které musíme přenést na přímku q. Protože části oblouků o_1 nahrazujeme tětivami, odměřujeme vzdálenosti průsečíků o_1 s vrstevnicemi terénu od výškových bodů cesty na o_1, které jsou k nim co nejblíže.

Chceme-li například přenést na q průsečík o_1 s vrstevnicí terénu o kótě 1, použijeme délku tětivy od tohoto bodu k výškovému bodu cesty na o_1 s kótou 3.

Průsečíkům o_1 s vrstevnicemi terénu přenesenými na q pak přiřadíme jejich výšky určené kótami vrstevnic, na nichž leží. Tím získáme řez terénem v podélném profilu.

V podélném profilu také vyznačíme průsečík rozvinuté nivelety o s terénem. V konstrukci tomuto bodu odpovídá průsečík o_1 s nulovou čarou. Po jeho přenesení na q mu přiřadíme takovou výšku, aby ležel na o. Následně jím musí procházet řez terénem.

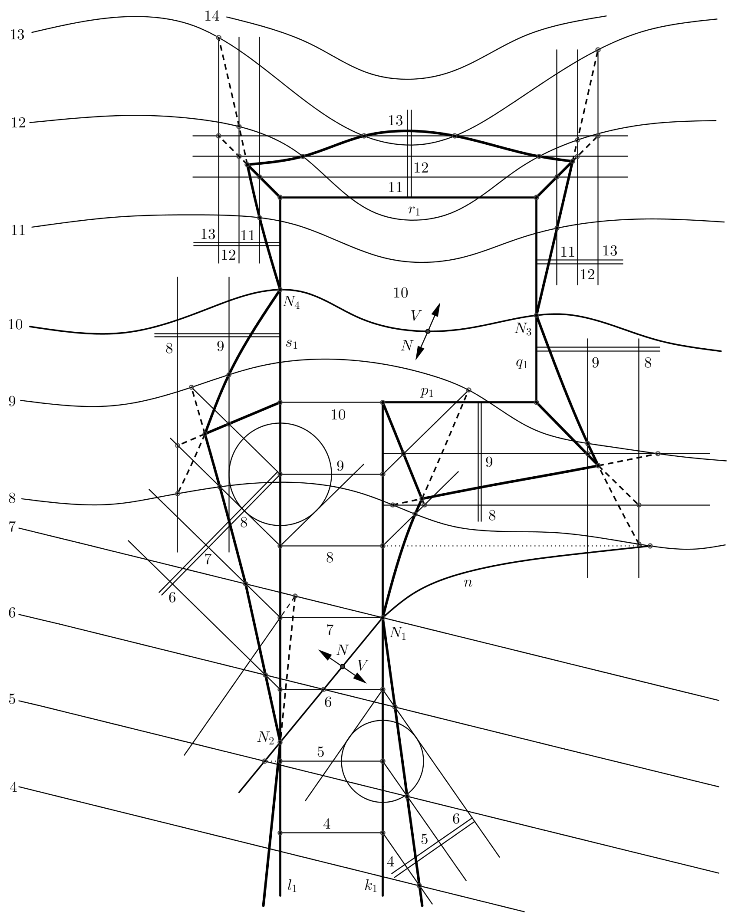
Příklad 1.1.6 Sestrojte spojení vodorovné plošiny, k níž vede stoupající přístupová cesta, s terénem. Plošina leží ve výšce 10, terén je po vrstevnici o kótě 7 rovinný, od kóty 7 je zadaný jako obecná topografická plocha. Výkopové roviny, které sestrojujeme od korunních hran plošiny, mají spád $s_V = \frac{5}{4}$, výkopové roviny od korunních hran přístupové cesty jsou zadány spádem $\overline{s_V} = \frac{5}{8}$, spád násypů $s_N = \frac{1}{2}$, měřítko M 1:200.

Řešení Nejprve spočítáme intervaly pro výkopy a násypy. Při měřítku 1 : 200 musí $1\,cm$ ve výkresu odpovídat délce $200\,cm = 2\,m$ ve skutečnosti, neboli $1\,m$ ve skutečnosti zobrazíme ve výkresu jako $0{,}5\,cm$.

- $i_V = \frac{1}{s_V} = \frac{4}{5}\,m \xrightarrow{M} \frac{2}{5}\,cm = 0{,}4\,cm$
- $\overline{i_V} = \frac{8}{5}\,m \xrightarrow{M} \frac{4}{5}\,cm = 0{,}8\,cm$
- $i_N = 2\,m \xrightarrow{M} 1\,cm$

Nejprve najdeme nulové čáry, podél nichž se cesta dotýká terénu a které oddělují oblasti násypů a výkopů. První nulovou čarou je vrstevnice terénu s kótou 10, která se dotýká vodorovné plošiny také ležící ve výšce 10. Druhou nulovou čáru n získáme jako průsečnici terénu s planýrovací plochou, kterou je rovina, v níž leží stoupající přístupová cesta. Do bodu s kótou 7 je tato nulová čára tvořena polopřímkou, dále má tvar obecné křivky. Rovněž určíme oblasti, kde se cesta nachází nad úrovní terénu (sestrojujeme násypy) a kde pod úrovní terénu (sestrojujeme výkopy).

Nejprve uvažujme stoupající korunní hrany k a l přístupové cesty v oblasti pod nulovou čarou n, kde budou výkopy. Výkopové roviny sestrojíme pomocí výkopového kužele, jehož vrchol umístíme do bodu na k s kótou 5, kružnice



Obrázek 19: Spojení cesty s terénem

kužele s poloměrem $\overline{i_V}$ bude ležet v rovině ve výšce 6. K této kružnici pak vedeme dvě tečny z bodu na k s kótou 6.

Pravá tečna je přímo hlavní přímkou výkopové roviny s kótou 6. Užitím spádového měřítka získáme další hlavní přímky výkopové roviny s kótami 5 a 4 a dále sestrojíme okraj výkopu jakožto průsečnici výkopové roviny s terénem. Protože v této oblasti je terénem rovina, bude se jednat o polopřímku s krajním bodem $N_1 = k_1 \cap n$.

Nyní použijeme levou tečnu sestrojenou ke kružnici výkopového kužele ve výšce 6. Aby byla konstrukce přehledná, můžeme postupovat tak, že tuto tečnu rovnoběžně posuneme do bodu na l s kótou 7. Tím získáme hlavní přímku o kótě 7 výkopové roviny sestrojené od korunní hrany l. Jejím průsečíkem s vrstevnicí terénu o kótě 7 bude procházet okraj výkopu, který je však až po průsečík $N_2 = l_1 \cap n$ pouze teoretický, a proto je zakreslen čárkovaně. Reálná část okraje výkopu je navazující polopřímka s krajním bodem N_2 zakreslená plnou čarou.

Dále uvažujme korunní hrany k a l v oblasti, kde budou násypy. Násypové roviny sestrojíme pomocí násypového kužele, jehož vrchol umístíme do bodu na l s kótou 9, kružnice kužele s poloměrem i_N bude ležet v rovině ve výšce 8. Z bodu na l s kótou 8 pak vedeme ke kružnici dvě tečny, přičemž levá tečna je přímo hlavní přímkou s kótou 8 násypové roviny od korunní hrany l. Pomocí spádového měřítka získáme další hlavní přímky násypové roviny, které potom protneme s vrstevnicemi terénu se stejnými kótami. Spojením získaných průsečíků získáme okraj násypu, kterým je mezi bodem N_2 a bodem o kótě 7 úsečka, od bodu s kótou 7 se jedná o obecnou křivku.

Násypovou rovinu od korunní hrany k určíme pomocí jejích hlavních přímek o kótách 8 a 9, které jsou rovnoběžné s pravou tečnou kružnice násypového kužele. Opět sestrojíme okraj násypu.

Nyní pokračujme konstrukcí násypové roviny od vodorovné korunní hrany p plošiny, určíme také okraj násypu.

Tím se dostáváme k další důležité křivce v konstrukci, kterou je *průsečnice násypových rovin.* Získáme ji jako spojnici průsečíků odpovídajících si hlavních přímek násypových rovin sestrojených od korunních hran k a p. Jedná se o polopřímku s krajním bodem o kótě 10, v němž na sebe hrany k a p navazují. Přitom se oba okraje násypu protínají s průsečnicí násypových rovin v jediném společném bodě a po tento bod je zakreslíme plnou čarou.

Stejným způsobem pokračujeme v konstrukci dále, sestrojíme násypovou rovinu od vodorovné korunní hrany q plošiny, okrajem násypu je křivka s krajním bodem N_3, což je průsečík hrany q a vrstevnice terénu s kótou 10.

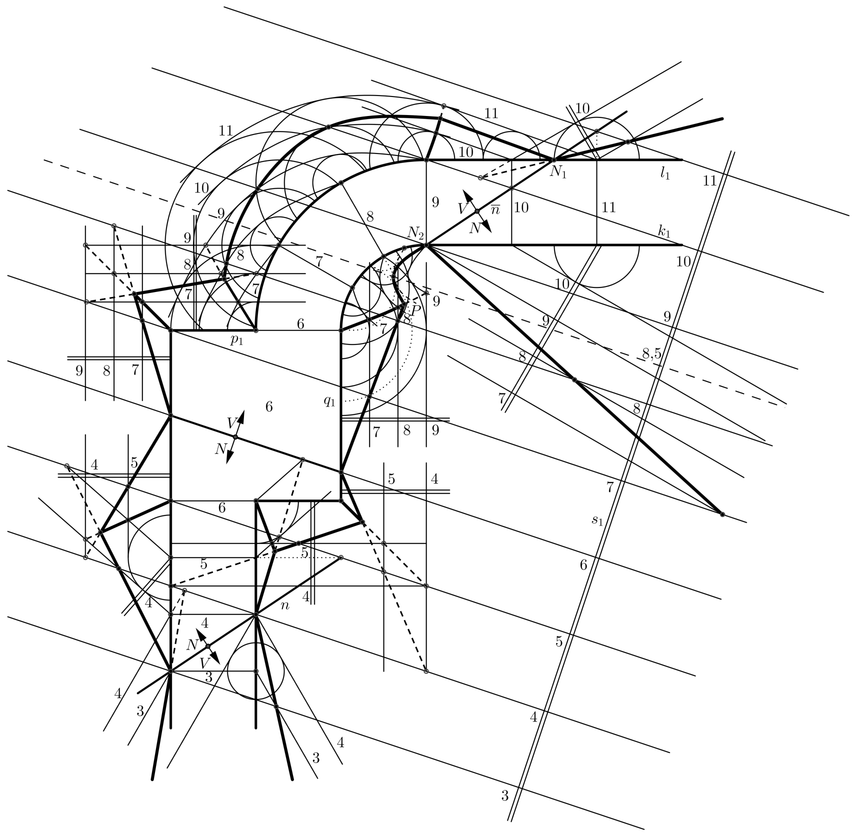
Protože násypové roviny sestrojené od vodorovných korunních hran p a q plošiny mají stejný spád, bude jejich průsečnice půlit vnější úhel $270°$, který tyto hrany svírají.

Ještě dodejme, že na stoupající korunní hranu l cesty navazuje vodorovná hrana s plošiny, od obou korunních hran jsou sestrojeny násypové roviny, které se opět protínají ve společné průsečnici. Tou je polopřímka vycházející ze společného bodu hran l a s.

Poslední částí konstrukce je sestrojení výkopových rovin od vodorovných korunních hran q, r a s plošiny. Tento úsek konstrukce se však provádí podobně jako předchozí části, které jsme podrobně popsali. V obr. 19 vidíme, že ke třem výkopovým rovinám jsou sestrojeny tři okraje výkopu a dvě *průsečnice výkopových rovin.*

Příklad 1.1.7 Sestrojte spojení navržené komunikace s terénem. Jedná se o vodorovnou plošinu ve výšce 6, k níž vedou dvě přístupové cesty. Terénem je rovina zadaná spádovým měřítkem. Spád výkopů $s_V = 1$, spád násypů $s_N = \frac{2}{3}$, měřítko M 1:100.

Řešení Nejprve pro výkopy a násypy spočítáme velikosti intervalů, $i_V = 1\,cm$, $i_N = 1{,}5\,cm$.



Obrázek 20: Spojení komunikace s terénem

Protože se tato úloha řeší podobně jako předchozí příklad, nebudeme celou konstrukci znovu podrobně popisovat, pouze se zaměříme na její možné problematické části.

Ve výkrese najdeme tři nulové čáry, první z nich je vrstevnice terénu s kótou 6, která se dotýká vodorovné plošiny ležící ve výšce 6. Druhou nulovou čarou je průsečnice n terénu a roviny přístupové cesty stoupající ke plošině. Třetí nulová čára $\overline{n}$ je průsečnicí terénu s planýrovací plochou, která vznikne prodloužením vodorovných tvořících úseček přístupové cesty klesající ke plošině. Nulová čára $\overline{n}$ pak korunní hrany protíná v bodech N_1 a N_2. Dále vymezíme oblasti, kde budeme sestrojovat násypy a kde výkopy.

Konstrukci násypových a výkopových rovin či ploch provádíme způsobem, který jsme podrobně popsali v přechozím textu. Od přímých korunních hran cesty stoupající ke plošině a také od vodorovných hran plošiny sestrojujeme výkopové a násypové poloroviny, které protínáme s terénem, čímž získáme okraje výkopů a násypů. Protože je terénem rovina, bude se jednat o části přímek. Dále se násypové resp. výkopové poloroviny protínají mezi sebou, jejich průsečnicemi jsou polopřímky, které procházejí průsečíkem dvou okrajů násypů, resp. výkopů.

Dále se zaměříme na přístupovou cestu, která klesá ke plošině, a její korunní hrany k a l. Šikmá korunní hrana l je mezi body s kótami 6 až 9 zakřivená, v této oblasti tedy konstruujeme výkopovou plochu. Každá její vrstevnice je obálkou kružnic, v nichž jsou výkopové kužely proťaty vodorovnou rovinou v příslušné výšce. Tato výkopová plocha protíná terén ve křivce v okraji výkopu a také se protíná ve křivce s výkopovou rovinou sestrojenou od korunní hrany p plošiny. Opět vznikne společný průsečík tří křivek – dvou okrajů výkopů a průsečnice mezi výkopovou rovinou od hrany p a výkopovou plochou od hrany l.

Hrana l je mezi bodem s kótou 9 a bodem N_1 přímá, takže zde sestrojíme výkopovou polorovinu určenou hlavními přímky s kótami 10 a 11. Ty bychom chtěli protnout s odpovídajícími vrstevnicemi terénu, ale ve výkrese vidíme, že jsou s nimi téměř rovnoběžné. Proto okraj výkopu vedeme bodem N_1 rovnoběžně s uvažovanými hlavními přímkami (tímto postupem se dopouštíme drobné nepřesnosti).

Musíme také vzít v úvahu, že se výkopová rovina a výkopová plocha, které jsme obě sestrojili od korunní hrany l, mezi sebou vzájemně protínají a určit jejich průsečnici.

Nakonec od korunní hrany l sestrojíme násypovou polorovinu a najdeme okraj násypu, kterým je polopřímka s krajním bodem N_1.

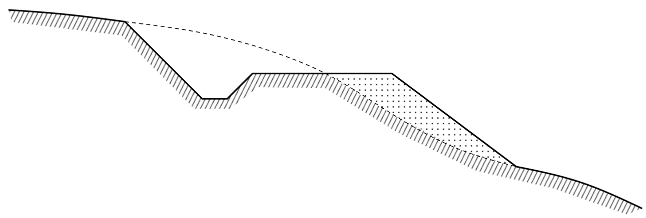
Dále se zabývejme korunní hranou k přístupové cesty klesající ke plošině. Protože hrana k je mezi body s kótami 6 až 9 zakřivená, sestrojíme v této oblasti výkopovou plochu. Najdeme její vrstevnice s kótami 7, 8 a 9 jako obálku kružnic, v nichž jsou výkopové kužely proťaty příslušnými vodorovnými rovinami. Budeme je protínat s odpovídajícími hlavními přímkami výkopové roviny sestrojené od korunní hrany q plošiny. Tím získáme průsečnici výkopové roviny a výkopové plochy. Zakreslíme ji plnou čarou po její průsečík P s okrajem výkopu, který vznikl jako průsečnice mezi terénem a výkopovou rovinou od hrany q.

Okraj výkopu musíme také určit pro výkopovou plochu od hrany k, přičemž známe jeho krajní body P a N_2. Abychom pro okraj výkopu našli ještě jeden bod, sestrojíme (čárkovaně) vrstevnici výkopové plochy s kótou 8,5. Pro její konstrukci potřebujeme kružnice výkopových kuželů, které leží ve vodorovné rovině ve výšce 8,5 a mají poloměry $0{,}5i_V, 1{,}5i_V$ a $2{,}5i_V$ (v obr. tečkovaně).

Vrstevnici výkopové plochy s kótou 8,5 protneme s mezivrstevnicí terénu o kótě 8,5, čímž pro okraj výkopu získáme další určující bod.

Korunní hrana k je od bodu s kótou 9 přímá, konstrukce násypové poloroviny a následně okraje násypu je tedy jednoduchá.

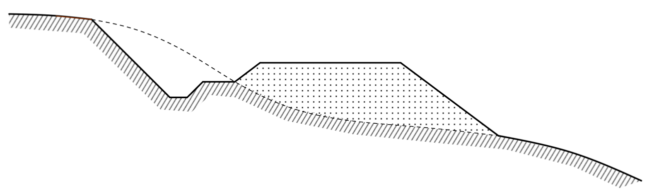
Odvodění objektu Při řešení spojení objektu s terénem je třeba vzít v úvahu, jakým způsobem po terénu a násypových a výkopových plochách stéká voda. Kdyby na korunní hranu cesty přímo navazovala výkopová plocha, voda by po ní stékala na povrch komunikace. Proto musí být korunní hrana komunikace oddělena od výkopové plochy *příkopem*, což je v příčném profilu znázorněno na obr. 21. Dno příkopu se umísťuje do hloubky $0,5\,m$ pod úroveň komunikace, šířka příkopu se také volí $0,5\,m$.



Obrázek 21: Příkop v příčném profilu

Druhý případ, který je nutno z hlediska odvodnění vyřešit, je situace, kdy je terén vůči násypové ploše skloněn tak, že okraj násypu vytváří úžlabí. Voda stékající po terénu by pak zatékala pod násyp a podemílala ho.

Násyp je proti tekoucí vodě chráněn tzv. *lavičkou*, což je část planýrovací plochy, jejíž určující křivkou je okraj násypové plochy sestrojené od korunní hrany cesty. Šířka lavičky se volí $0,75\,m$.



Obrázek 22: Lavička v příčném profilu

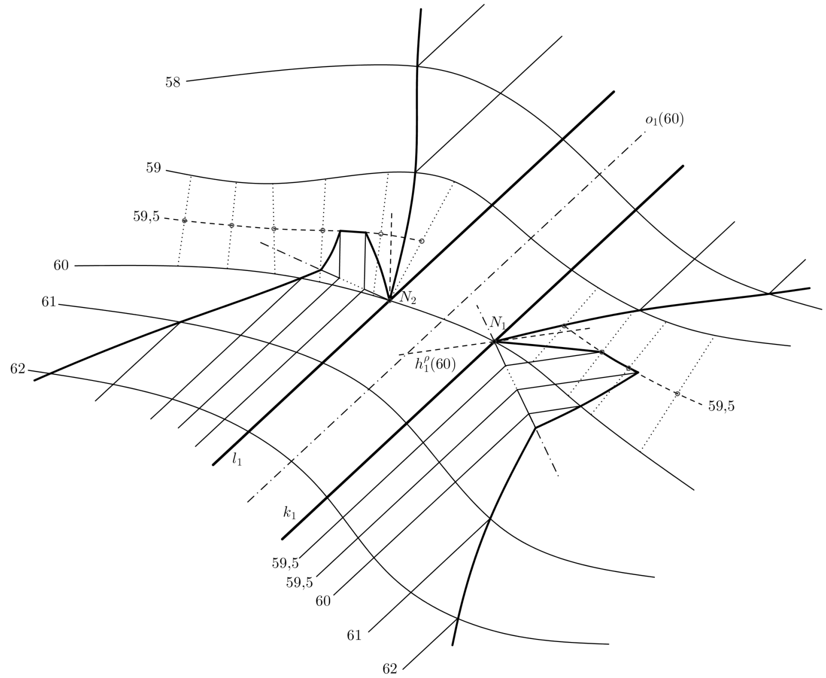
Situaci ukážeme na nejjednodušším případu, kdy výkopovou rovinu sestrojujeme od vodorovné korunní hrany cesty ležící v přímce. Vyřešíme vyústění příkopu do terénu.

Příklad 1.1.8 Vodorovná cesta ležící ve výšce 60, jejíž niveleta o je částí přímky, je od výkopové roviny se spádem $s_V = 1$ oddělena příkopem. Vyřešte zakončení příkopu v terénu. Spád násypové roviny je $s_N = \frac{2}{3}$, měřítko M 1:100.

Řešení Nulová čára, kterou je vstevnice terénu o kótě 60, protíná korunní hrany k a l v bodech N_1 a N_2. Konstrukci násypových rovin, jejichž interval je $i_N = 1{,}5\,cm$, a také sestrojení okrajů násypů umíme provést.

Dále uvažujme korunní hranu k v oblasti výkopů. Jak jsme uvedli výše, bude výkopová rovina oddělena od hrany k příkopem (viz obr. 21).

Od hrany k neprve klesá stěna příkopu, což je násypová rovina se spádem 1, jejíž výška je $0{,}5\,m$. Protože je její interval $1\,cm$, bude hlavní přímka o kótě 59,5 vedena rovnoběžně s k_1 ve vzdálenosti $0{,}5\,cm$. Je to současně okrajová hrana dna příkopu, na níž navazuje vodorovné dno příkopu o šířce $0{,}5\,m$, tedy ve výkrese



Obrázek 23: Vyústění příkopu v terénu

0,5 cm. Tím získáme druhou krajní hranu dna příkopu ležící stále ve výšce 59,5. Od ní pokračuje výkopová rovina se spádem 1, tedy intervalem 1 cm.

Hlavní přímka výkopové roviny s kótou 60 je rovnoběžka s okrajem dna příkopu ve vzdálenosti 0,5 cm. Další hlavní přímky s kótami 61, 62 atd. už mají mezi sebou interval 1 cm. Určíme okraj výkopu jako průsečnici výkopové roviny s terénem.

Vodorovné dno příkopu ústí na mezivrstevnici s kótou 59,5. Kdybychom příkop v celé délce vedli rovnoběžně s korunní hranou k, jeho konec by se nacházel u okraje násypové roviny a voda tekoucí příkopem by násyp podemílala.

Proto je třeba konec příkopu od násypu odklonit. To provedeme zavedením pomocné roviny ρ, jejíž hlavní přímka s kótou 60 prochází bodem N_1. Polohu přímky $h_1^\rho(60), N_1 \in h_1^\rho(60)$, si sami vhodně zvolíme. Rovina ρ je násypovou rovinou, která tvoří novou boční stěnu příkopu. Její spád je také roven 1, což znamená, že v půdorysu je průsečnicí obou bočních stěn příkopu osa úhlu mezi k_1 a h_1^ρ.

Vodorovné dno příkopu je v půdoryse na této ose zalomeno a následně je příkop ukončen na vrstevnici terénu s kótou 59,5.

Dále setrojíme průsečnici roviny ρ s terénem, což je křivka omezená bodem N_1 a bodem o kótě 59,5. Nakonec určíme okraj výkopové roviny, jejíž spád je také 1, která stoupá od kraje dna příkopu po zalomení. Jak už víme, bude se průsečnice obou výkopových rovin, která je v půdorysu totožná s již zmíněnou osou úhlu mezi k_1 a h_1^ρ, protínat s oběma okraji v jediném bodě.

Řešení situace v oblasti výkopů od korunní hrany l je analogické. $\square$

V případě stoupající cesty se vyústění příkopu řeší podobně, nicméně celá situace je výrazně komplikovanější. Celá problematika odvodění komunikací není předmětem konstruktivní geometrie, ale náleží do oboru dopravní stavitelství.