

Dva geometrické příklady „přechodových“ ploch v architektuře

Radimír Novotný

Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

Abstrakt

Príspevok analyzuje relevantní geometrické vlastnosti dvou „přechodových“ (plášťových) a rotačně asymetrických ploch se stejnou kruhovou horizontální podstavou, z nichž jedna je přímková rozvinutelná, zatímco druhá je přímková nerozvinutelná s tím, že „pódium“ (horní vodorovná podstava) prvé z nich je kružnicí, zatímco „pódium“ té druhé je elipsou, přičemž vertikální vzdálenost obou podstav je stejná. Obě uvažované „přechodové“ plochy jsou speciálně definovány tak, že právě jediná z (nekonečného množství) tvořících přímek bude vždy vertikální. S popsányými geometrickými útvary se lze především setkat v moderní architektuře v souvislosti s podstavnou hmotou pódíí, piedestálů soch apod.

Klíčová slova: kuželové plochy rozvinutelné, nerozvinutelné plochy, koidy, přímkové plochy, piedestaly a jejich plášťové plochy

Úvod

V architektuře (ale i v řadě fyzikálně technických problémů praxe) bývá často zapotřebí vyřešit geometrický problém vhodných přechodových ploch mezi dvěma rovnoběžnými podstavami resp. profily. Jde-li v případě architektury o úlohy ryze estetické, pak v případě techniky běží o zadání zpravidla fyzikálně přísně podmíněná. Je přitom zajímavé, že fyzikální účelnost takovýchto ploch obvykle odpovídá i jejich tvarové geometrické eleganci; jako by v přírodě existovala zřetelná kongruence mezi účelností a krásou (ale i naopak)! Sluší se ovšem poznamenat, že poněkud „hravé“ modelování „pěkných“ architektonických tvarů bývá zpravidla mnohem snazší než jejich nalézání z těch či oněch požadavků exaktních věd.

Námi vytýčená úloha je patrně čistě geometrické povahy. Prvá popisovaná plášťová plocha je plochou kruhově kuželovou, tedy přímkovou a rozvinutelnou,

zároveň též ale plochou rotačně nesouměrnou, kosou a komolou, viz též Obr. 1. Druhou studovanou plochou je plocha kruhového kosého konoidu, tedy plocha přímková nerozvinutelná, viz též Obr. 2., přičemž komolostí obou těchto geometrických útvarů rozumíme jejich omezení dvěma vodorovnými podstavami „kružnice – kružnice“ resp. „kružnice – elipsa“ o jednotné vzdálenosti h podstav. Obě studované plochy jsou evidentně symetrické jedině vzhledem k nárysně. Poznamenejme, že kvůli jednoduchosti kreslení i názornosti byla pro zobrazení obou analyzovaných ploch zvolena Mongeova projekce.

V dalším textu budeme vyšetřovat resp. verifikovat a srovnávat polohově geometrické vlastnosti obou uvedených plášťových ploch metodou analytické prostorové geometrie, posléze dojde i ke srovnávání některých jejich metrických charakteristik.

Přímková rozvinutelná plocha

Této „přechodové“ ploše odpovídá, jak již výše řečeno, Obr. 1. Nechť se její spodní horizontální kružnice o poloměru r_o a se středem $S \equiv O$ nalézá v půdorysně (x_1x_2) . Její vrchol V v nárysně (x_1x_3) nechť má pak souřadnice $V \equiv V(r_o; 0; L)$, $L \geq 0$.

Uvažujme, že geometrické místo středů všech horních vodorovných kružnic se bude nalézat na přímce p , která spojuje body S a V . Bude-li se střed takového (libovolné) kružnice o poloměru r nalézat v úrovni x_3 nad půdorysnou, snadno nalezneme

$$r(x_3) = r_o - \frac{r_o}{L} \cdot x_3, \quad (1)$$

přičemž její (v Obr. 1. již neoznačený) střed je vyosen oproti středu S spodní kružnice o rozdíl poloměrů, totiž o

$$m = r_o - r. \quad (2)$$

Je-li dále rovnice spodní kružnice tvaru $x_1^2 + x_2^2 = r_o^2$, pak rovnice horní vyosené kružnice je

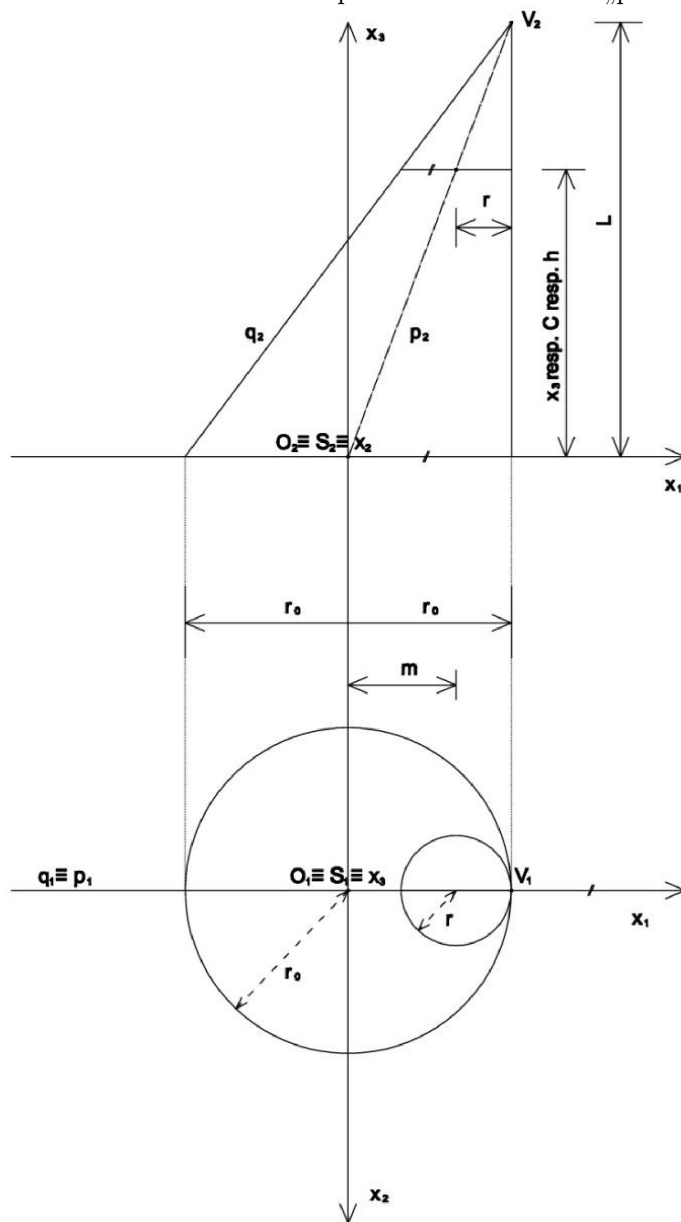
$$(x_1 - m)^2 + x_2^2 = r^2. \quad (3)$$

Spojíme-li nyní rovnice (1), (2) a (3), obdržíme po menší úpravě hledanou rovnici pláště předmětné plochy, totiž

$$x_1^2 + x_2^2 - \frac{2 \cdot r_o}{L} \cdot x_1 \cdot x_3 + \frac{2 \cdot r_o^2}{L} \cdot x_3 - r_o^2 = 0 \quad (4)$$

platné vzhledem k soustavě $\{O; x_1; x_2; x_3\}$.

Obrázek 1: Schéma kruhové přímkové rozvinutelné „přechodové“ plochy



Zdroj: vlastní

Snad je vhodné na tomto místě ukázat několik verifikací resp. odvodit několik geometrických vlastností plochy (4). Např., podobně jako vzorec (1), z názoru plyne i jiná jeho varianta, totiž kupř. $x_3 = L \cdot (1 - \frac{r}{r_o})$. Spojením tohoto výrazu s (4) po jistých algebraických úpravách dostaneme $[x_1 - (r_o - r)]^2 + x_2^2 = r^2$, což je ale (3); vztah (4) je tedy správný. Dále se ptejme, jaký útvar vznikne řezem (4) rovinou $x_3 = C < L$. Uplatněním tohoto požadavku na (4) dospějeme po úpravách k rovnici $(x_1 - m)^2 + x_2^2 = (r_o - m)^2$, v němž je ovšem $m = \frac{C \cdot r_o}{L}$, takže vodorovným řezem plochy (4) je vždy kružnice, srovnej s (2), (3) a s Obr. 1. Anebo na otázku, „co že je řezem plochy (4) rovinou $x_3 = L$?“ dává odpověď prosté spojení uvedené rovnice roviny rovnoběžné s půdorysnou se vztahem (4). Tak se dobereme výrazu $x_2^2 + x_1^2 - 2 \cdot r_o \cdot x_1 + r_o^2 = 0$, neboli $(x_1 - r_o)^2 + x_2^2 = 0$, což je ovšem splněno jenom při současné platnosti $x_1 = r_o$ a $x_2 = 0$, takže hledaným řezem je bod (vrchol) V . Provedeme-li průnik plochy (4) rovinou $x_2 = 0$, tedy nárysnou, dospějeme ihned k rovnici $x_1^2 - \frac{2 \cdot r_o}{L} \cdot x_1 \cdot x_3 + \frac{2 \cdot r_o^2}{L} \cdot x_3 - r_o^2 = 0$. Čtenář se snadno přesvědčí, že tomuto vztahu (kvadratická rovnice) vyhovuje jednak $x_1 = r_o$ (jediná svislá površka) a jednak přímka (šikmá površka s nejmenším spádem) $q \equiv x_1(x_3) = \frac{2 \cdot r_o}{L} \cdot x_3 - r_o \equiv x_3(x_1) = \frac{L}{2 \cdot r_o} \cdot x_1 + \frac{L}{2}$. Pro úplnost ještě uvedme rovnici přímky p jako $p \equiv x_1(x_3) = \frac{r_o}{L} \cdot x_3 \equiv x_3(x_1) = \frac{L}{r_o} \cdot x_1$. Potvrzuje se, že površka q má poloviční spád oproti přímce p . Konečně se můžeme tázat, co je řezem plochy (4) bokorysnou $x_1 = 0$. Dosazením a úpravou ihned dospějeme k rovnici $x_3(x_2) = \frac{L}{2} - \frac{L}{2 \cdot r_o^2} \cdot x_2^2$. Hledaným řezem je tedy parabola druhého stupně s vrcholem na přímce q .

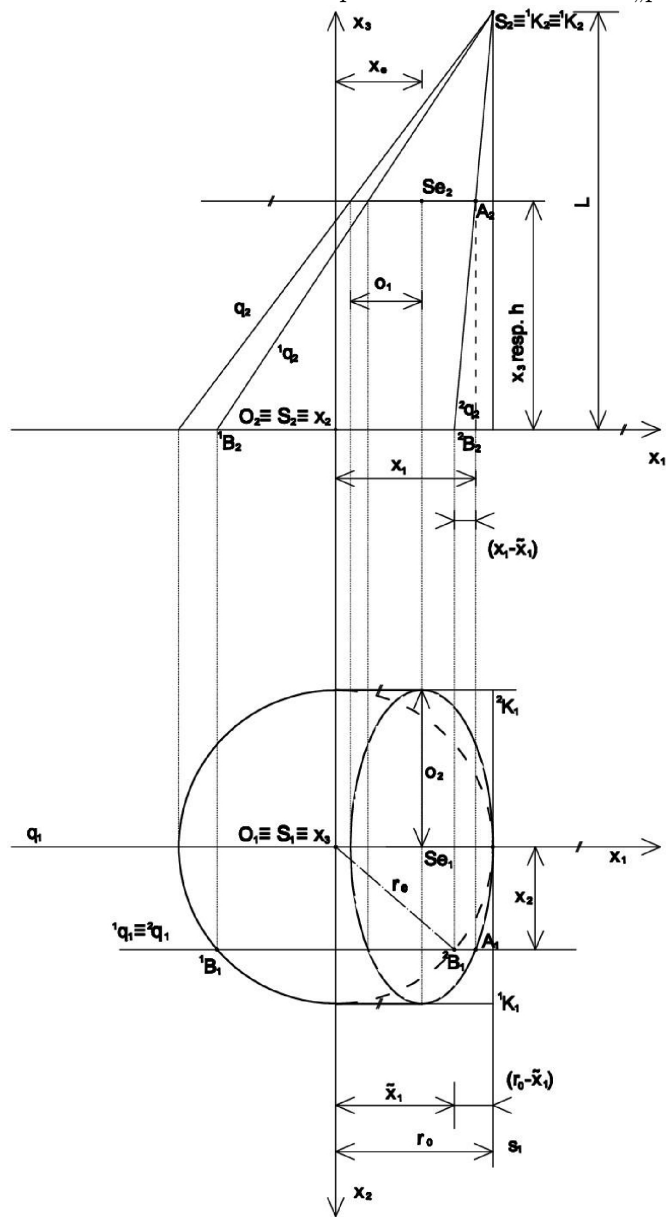
Přímková nerozvinutelná plocha

Nadepsané přímkové ploše je přiřazen Obr. 2. Její jednou řídící křivkou bude opět horizontální kružnice o poloměru r_o se středem $S \equiv O$ nalézající se v půdorysně (x_1x_2) . Druhým řídícím útvarem pak bude přímka s daná průnikem dvou rovin: $x_1 = r_o$ a $x_3 = L$ a třetím řídícím prvkem je náryсна (x_1x_3) . Studovanou „přechodovou“ plochou je tedy kruhový přímý konoid.

V Obr. 2. se zaměříme na regulární tvořící přímku ${}^2q$ (ze dvojice tvořících přímek ${}^1q$ a ${}^2q$).

Pro prvou souřadnici bodu ${}^2B$ (na spodní kružnici v půdorysně) jsme použili označení $\tilde{x}_1$, zatímco pro prvou souřadnici obecného bodu $A \in {}^2q$, který leží na ploše konoidu ve výšce x_3 nad půdorysnou, jsme použili označení x_1 , přičemž zřejmě ${}^2q \equiv {}^2BA$.

Obrázek 2: Schéma kruhové přímkové nerozvinutelné „přechodové“ plochy



Zdroj: vlastní

Patrně platí $\tilde{x}_1 = \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2}$ (uvažujeme znaménko „plus“), ale také lineární závislost $\frac{(r_o - \tilde{x}_1)}{L} = \frac{(x_1 - \tilde{x}_1)}{x_3}$. Spojením obou posledních rovnic dostaneme

$$x_3(x_1, x_2) = \frac{(x_1 \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2})}{(r_o \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2})} \cdot L. \quad (5)$$

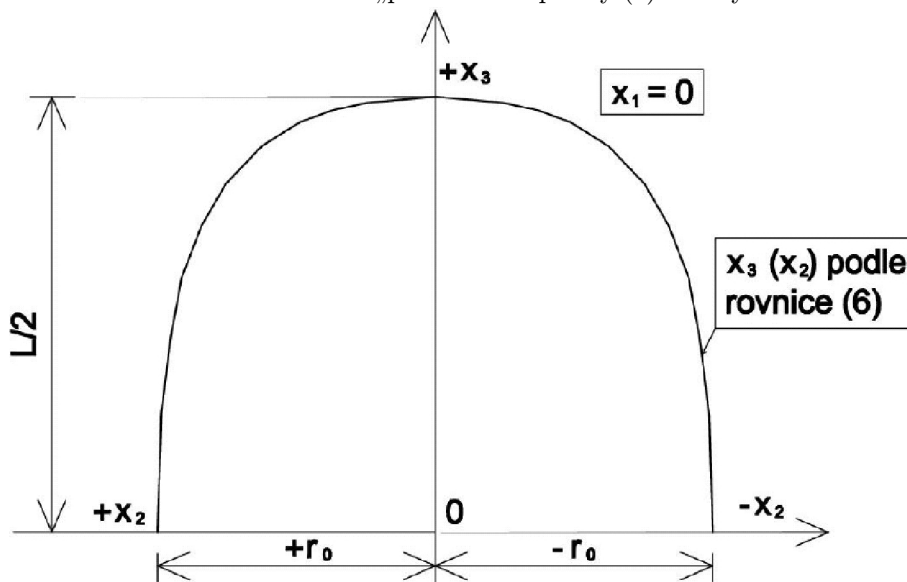
Vztah (5) je rovnicí konoidu zobrazeného na Obr. 2. vzhledem k soustavě kartézských souřadnic $\{O; x_1; x_2; x_3\}$.

Proveďme i v případě rovnice (5) užitečná ověření a prozkoumejme některé vlastnosti této plochy. Především, bude-li v (5) platit $x_3 = 0$, potom vzhledem k předpokladům vyjde $x_1^2 + x_2^2 = r_o^2$, což je ale rovnice spodní podstavny (a řídicí) kružnice konoidu (5). Podobně, pro $x_3 = L$ vyjde z (5) $x_1 = r_o$, což je rovnicí (řídící) přímky s kolmé k nárysně (x_1x_3) . Vztah (5) je tedy správný. Proveďme nyní řez konoidu (5) nárysnou $x_2 = 0$. Po dosazení při uvažování znaménka „minus“ vyjde z (5) $x_1 = r_o$, což je tvořící přímka nerozvinutelné přímkové plochy kolmá k půdorysně (x_1x_2) a zároveň jedna ze dvou torzálních přímek ležících v nárysně $x_2 = 0$. Tato tvořící přímka má ze všech patrně nejvyšší spád. Při uvažování znaménka „plus“ ve vztahu (5) obdobně po kratší úpravě vyjde vztah $x_3(x_1) = \frac{L}{2 \cdot r_o} \cdot x_1 + \frac{L}{2}$. Toto je také tvořící přímka zborcené plochy (5), a to s nejmenším spádem, – a zároveň také její druhou torzální přímkou ležící v nárysně. Na Obr. 2. je označena q . (Existují ještě další dvě torzální (tvořící) přímky rovnoběžné s nárysnou, jejichž spád je „střední“, totiž $\frac{L}{r_o}$, které na řídící přímce s určují dva kuspídní body ^1K a ^2K). Prozkoumejme dále, co jest řezem plochy (5) bokorysnou (rovinou $x_1 = 0$). Patrně vychází křivka

$$x_3(x_2) = \pm \frac{L \cdot \sqrt{r_o^2 - x_2^2}}{r_o \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2}}, \quad (6)$$

v níž (realisticky) žádáme $x_3 \geq 0$ a $r_o \geq |x_2| \geq 0$. V rovnici (6) vychází pro $x_2 = 0$ buď $x_3 \rightarrow -\infty$, anebo $x_3 = +\frac{L}{2}$, což dobře odpovídá názoru. Podobně, pro $x_2 = \pm r_o$ dává (6) patrně $x_3 = 0$. Vztah (6) je křivkou podkovovitého tvaru (jakýsi konkávní „půlovál“ s kulminem na tvořící přímce q), viz Obr. 3. Je i zvláštním případem průřezové (trojparametrické) křivky $x_3(x_2) = \frac{(b \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2})}{(r_o \pm \sqrt{r_o^2 - x_2^2})} \cdot L$ vzniknuvší průnikem rovin $x_1 = b; b \in \langle -r_o; +r_o \rangle$ plochou (5), takže poslední vztah je kongruentní se vztahem (6). (Detailní analýzu těchto křivek ležících v bokorysně ponecháváme již na čtenáři).

Obrázek 3: Řez nerozvinutelné „přechodové“ plochy (5) bokorysnou



Zdroj: vlastní

Tažme se konečně, co je řezem konoidu (5) vodorovnými rovinami (rovnoběžnými s půdorysnou $x_3 = 0$). Necht' jsou uvažované roviny tvaru $x_3 = \frac{L}{a}$, $a \in \langle 1; +\infty \rangle$. Průnikem těchto rovin plochou (5) je (pro obě uvažovaná znamení „plus“ či „minus“) křivka tvaru (po úpravě)

$$a^2 \cdot x_1^2 + (a-1)^2 \cdot x_2^2 - 2 \cdot r_o \cdot a \cdot x_1 + r_o^2 \cdot a \cdot (2-a) = 0. \quad (7)$$

Označme $A = a^2$, $B = 0$, $C = (a-1)^2$, $D = -r_o \cdot a$, $E = 0$ a $F = r_o^2 \cdot a \cdot (2-a)$, přičemž $A \cdot x_1^2 + 2 \cdot B \cdot x_1 \cdot x_2 + C \cdot x_2^2 + 2 \cdot D \cdot x_1 + 2 \cdot E \cdot x_2 + F = 0$ je rovnice obecné kuželosečky v rovině $x_3 = \frac{L}{a}$. V našem případě je tedy rovnice (7) vyjádřitelná ve tvaru $A \cdot x_1^2 + C \cdot x_2^2 + 2 \cdot D \cdot x_1 + F = 0$, v němž je evidentně $B = 0$ a $\text{sign} A = \text{sign} C$. Jde proto o elipsu s poloosami rovnoběžnými s osami x_1 a x_2 kartézské soustavy souřadnic $\{0; x_1; x_2; x_3\}$. Tehdy je délka první její poloosy dána vztahem $a_1 || x_1 = \sqrt{\frac{C \cdot D^2 + A \cdot E^2 - A \cdot C \cdot F}{A^2 \cdot C}}$ a délka její druhé poloosy vyplývá ze vztahu $a_2 || x_2 = \sqrt{\frac{C \cdot D^2 + A \cdot E^2 - A \cdot C \cdot F}{A \cdot C^2}}$. Lze také vyjádřit souřadnice středu této „průnikové“ elipsy, totiž $S_e \equiv [x_{e1}; x_{e2}]$, kde

$x_{e1} = -\frac{D}{A}$ a $x_{e2} = -\frac{E}{C}$. Po příslušných dosazeních a úpravách dostaneme

$$o_1 = \frac{a-1}{a} \cdot r_o, \quad (8)$$

$$o_2 = r_o, \quad (9)$$

$$x_{e1} = \frac{r_o}{a} \quad (10)$$

a konečně

$$x_{e2} = 0. \quad (11)$$

Pro kontrolu ověříme: např. pro $a = 2$ dává rovnice (7) elipsu $4 \cdot x_1^2 + x_2^2 - 4 \cdot r_o \cdot x_1 = 0$. Tato má souřadnice podle (10) a (11) $x_{e1} = \frac{r_o}{2}$ a $x_{e2} = 0$ a dále podle (8) a (9) poloosy $o_1 = \frac{r_o}{2}$ a $o_2 = r_o$. Nebo např. pro $a = 1$ neboli pro $x_3 = L$ vychází z rovnice (7) vztah $x_1^2 - 2 \cdot r_o \cdot x_1 + r_o^2 = 0$. Odsud pak ihned $(x_1 - r_o)^2 = 0$, čili $x_1 = r_o$. Také je vidět, že $x_{e1} = r_o$ a $o_1 \rightarrow 0$. Konečně např. pro $a \rightarrow +\infty$ limitně přechází (7) v rovnici kružnice $x_1^2 + x_2^2 = r_o^2$, kdy $x_{e1} \rightarrow 0$ a $o_1 \rightarrow r_o$. Všechny tyto verifikace jsou evidentní i z Obr. 2.

Porovnání některých metrických vlastností obou „přechodových“ ploch

Uvažujme nadále, že obě studované plochy (4) a (5) mají stejnou podstavou kružnici o obsahu $P_o = \pi \cdot r_o^2$ a stejnou úroveň horní podstavy $x_3 = h$; $h \equiv x_3 \leq L$, viz též Obr. 1. a Obr. 2. Ze vztahu (1) pro rozvinutelnou plochu (4) snadno zjistíme závislost obsahu horní podstavy na její úrovni, totiž

$$P_r(h) = P_o \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2. \quad (12)$$

Vzhledem k výše zavedené substituci $x_3 = \frac{L}{a}$ lze také vztah (12) vyjádřit jako

$$P_r(a) = P_o \cdot \left(\frac{a-1}{a}\right)^2. \quad (12a)$$

Podobně, pro nerozvinutelnou plochu (5) určíme obsah její horní podstavy jako $P_n = \pi \cdot o_1 \cdot o_2$ (elipsa), kde je třeba dosadit vztahy (8) a (9) při respektování substituce $x_3 = \frac{L}{a}$. Vyjde

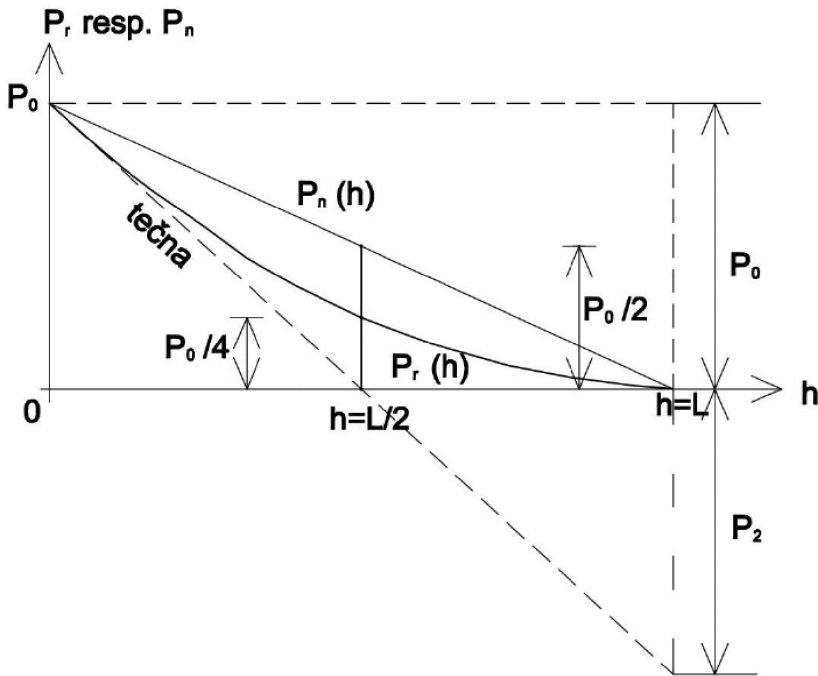
$$P_n(h) = P_o \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right), \quad (13)$$

popř.

$$P_n(a) = P_o \cdot \frac{(a-1)}{a}. \quad (13a)$$

Je vidět, že pro všechna $0 \leq h \leq L$ platí $P_r(h) \leq P_n(h)$, přičemž poměr $\left[\frac{P_n(h)}{P_r(h)}\right]$ dosáhne svého maxima 2 při $h = \frac{L}{2}$, viz též Obr. 4.

Obrázek 4: Závislost obsahů vodorovných rovinných řezů obou ploch na úrovni jejich průniků



Zdroj: vlastní

Všimněme si konečně objemů obou uvažovaných „přechodových“ ploch omezených úrovněmi $x_3 = 0$ a $x_3 = h$. Na základě Cavalieriho principu lze vyjádřit výše vymezený objem $V_n(h)$ nerozvinutelné plochy (5) pomocí stejně vymezeného objemu $V_r(h)$ rozvinutelné plochy (4) takto:

$$V_n(h) = V_r(h) + \int_0^h [P_n(h) - P_r(h)] \cdot dh. \quad (14)$$

Ve vzorci (14) se (opět využitím Cavalieriho principu a výpočtu vymezené části rotačně symetrického objemu popř. za využití vztahů z elementární stereometrie při aplikaci na (4)) snadno odvodí, že

$$V_r(h) = \frac{\pi}{3} \cdot h \cdot (2 \cdot r_o^2 - r_o^2 \cdot \frac{h}{L} + r^2), \quad (15)$$

popř. též

$$V_r(h) = \frac{\pi}{3} \cdot h \cdot (r_o^2 + r_o \cdot r + r^2). \quad (15a)$$

Uvážíme-li, že platí $r = \frac{r_o}{L} \cdot (L - h)$, lze rovnici (15) po úpravách vyjádřit také jako

$$V_r(h) = P_o \cdot h \cdot \left(1 - \frac{h}{L} + \frac{h^2}{3 \cdot L^2}\right). \quad (15b)$$

Pro naznačený integrál ve (14) pak vzhledem ke (12) a (13) odvodíme

$$\int_0^h [P_n(h) - P_r(h)] \cdot dh = P_o \cdot \int_0^h \left(\frac{h}{L} - \frac{h^2}{L^2}\right) \cdot dh = \pi \cdot r_o^2 \cdot \frac{h^2}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{h}{3 \cdot L}\right). \quad (16)$$

Ten je (podle očekávání) kladný pro $0 < h \leq L$. Nyní, dosadíme-li do (14) vztahy (15) a (16), obdržíme po úpravách

$$V_n(h) = P_o \cdot h \cdot \left(1 - \frac{h}{2 \cdot L}\right). \quad (14a)$$

Zbývá porovnat vztahy (14a) a (15b). Označíme-li v nich $V_o(h) = P_o \cdot h$ jako objem přímého kruhového válce výšky h s kruhovou podstavou o obsahu $P_o = \pi \cdot r_o^2$ a vyjádříme-li $h = x_3 = \frac{L}{a}$, $a \in \langle 1; +\infty \rangle$, viz výše v textu, snadno odvodíme

$$V_n = V_o \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot a}\right). \quad (14b)$$

a

$$V_r = V_o \cdot \left(1 - \frac{1}{a} + \frac{1}{3 \cdot a^2}\right). \quad (15c)$$

Odsud vidíme, že (po úpravě) poměr $\frac{V_n}{V_r} = \frac{6 \cdot a^2 - 3 \cdot a}{6 \cdot a^2 - 6 \cdot a + 2}$ je kladná klesající funkce od hodnoty $\frac{3}{2}$ pro $a = 1$ do 1 pro $a \rightarrow +\infty$, tedy že pro reálně uvažovaná a je vždy $V_n \geq V_r$. Analýzu funkčního vztahu $\frac{V_n}{V_r}(a)$ opět ponecháme již na čtenáři.

Závěr

Obě analyzované „přechodové“ plochy představují (přes svoji asymetrii, až na souměrnost vzhledem k nárysně $x_2 = 0$) elegantní přechodové plošně geometrické útvary mezi kruhovou horizontální spodní podstavou a podstavou vodorovnou horní. V případě, že půjde o shodné obsahy spodních kruhových podstav i o stejné úrovně podstav horních, dává rozvinutelná „přechodová“ plocha menší obsah svojí horní kruhové podstavy, než je obsah eliptické podstavy horní, která odpovídá uvažované „přechodové“ ploše nerozvinutelné. Nerozvinutelná plocha (jíž je kosý kruhový konoid) tedy jednoznačně dává lepší prostorové možnosti z hlediska využitelnosti „horního podia“, než je tomu u plochy rozvinutelné (jíž je kosý kruhový kužel). Rovněž objem „uzavřený“ mezi oběma uvažovanými úrovněmi je větší u nerozvinutelné plochy, než je tomu v případě „přechodové“ plochy rozvinutelné. Ze stavitelského hlediska se proto naopak jeví „úspornějším“ piedestal s plochou rozvinutelnou, a to nejen menší spotřebou materiálu na objem podstavy, ale i snazším provedením v důsledku přeci jen jednodušeji definované geometrie. Mají-li tedy obě analyzované plochy svoje „vyčíslitelné“ výhody i nevýhody, zůstává preference té či oné věci estetického citění architekta.

Použité zdroje

1. REKTORYS, K. a kol. *Přehled užití matematiky*. 6. přepr. vyd. Praha : Prometheus, 1995. ISBN 80-85849-72-0.
2. BARTSCH, H.-J. *Matematické vzorce*. Vyd. 4., v nakl. Academia 1. (reprint). Praha : Academia, 2006. ISBN 80-200-1448-9.
3. KOUNOVSKÝ, J. *Zborcené plochy*. Praha : Jednota československých matematiků a fysiků, 1947.
4. KLAPKA, J. *Analytická geometrie : Učebnice pro studium na fak. inž. stavitelství, arch. a pozemního stavitelství a ostatních fak. techn. směru*. Praha : SNTL, 1960.

5. BUDINSKÝ, B.; KEPR, B. *Základy diferenciální geometrie s technickými aplikacemi*. Praha : SNTL, 1970.

Two geometric examples of "transitional" areas in architecture

This article analyzes the relevant geometric properties of the two "transition" (sheating) and rotationally asymmetric surfaces with the same horizontal ring at the base, one of which is developable linear, while the other is linear undevelopable with that "stage" (the upper horizontal base) of the first one is circle, while the "stage" of the other is an ellipse, the vertical distance between the bases is the same. Both considered "transitional" areas are specifically defined to mean that only the (infinite) forming lines will always be vertical. The geometric formations described above can be found in modern architecture in the context of mass-mounting stages, pedestals of statues, etc.

Keywords: conical developable surface, surface undevelopable, conoid, ruled surfaces, pedestals and sheating surfaces

Kontaktní adresa:

prof. Ing. Radimír Novotný, DrSc., Katedra techniky a aplikovaných věd, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 10, 370 01 České Budějovice, e-mail: novotny@mail.vstecb.cz

NOVOTNÝ, R. Dva geometrické příklady „přechodových“ ploch v architektuře. *Littera Scripta*, 2011, roč. 4, č. 1, s. 191–202. ISSN 1802-503X.
