

Razvrščanje kristalov po njihovih oblikah (četrti del)

Mirjan Žorž

V tem nadaljevanju opisujemo štirištevne minerale, ki jih delimo v dve skupini. V prvi so minerali, ki so lahko štirištevni samo vzdolž glavne osi in jih uvrščamo v tetragonalni sistem simetrij, medtem ko so v drugi minerali, ki so lahko štirištevni vzdolž treh osi, ki so si med seboj pravokotne. Slednje uvrščamo v sistem kubičnih simetrij. V obeh sistemih je nekaj simetrij, katerih števnost je pol nižja, kristali takih mineralov pa imajo zato zanimive oblike.

Štirištevni minerali $n = 4$

Vsi minerali s to števnostjo imajo kvadratni presek vzdolž svoje glavne kristalografske osi. Kristali z najvišjo štirištevno simetrijo imajo štiri ravnine simetrije, ki so vzporedne z glavno osjo in se sekajo pod kotom 45 stopinj. Pravokotno nanje je še ena ravnina simetrije. V tej holomorfiji je torej največje možno število enakih ploskev 16, kar ustreza ditetragonalni bipiramidi. Idiomorfno razvite kristale s to simetrijo najdemo pri anatazu, avtunitu, fluoroapatitu, torbernitu, vezuvianu in cirkonu.

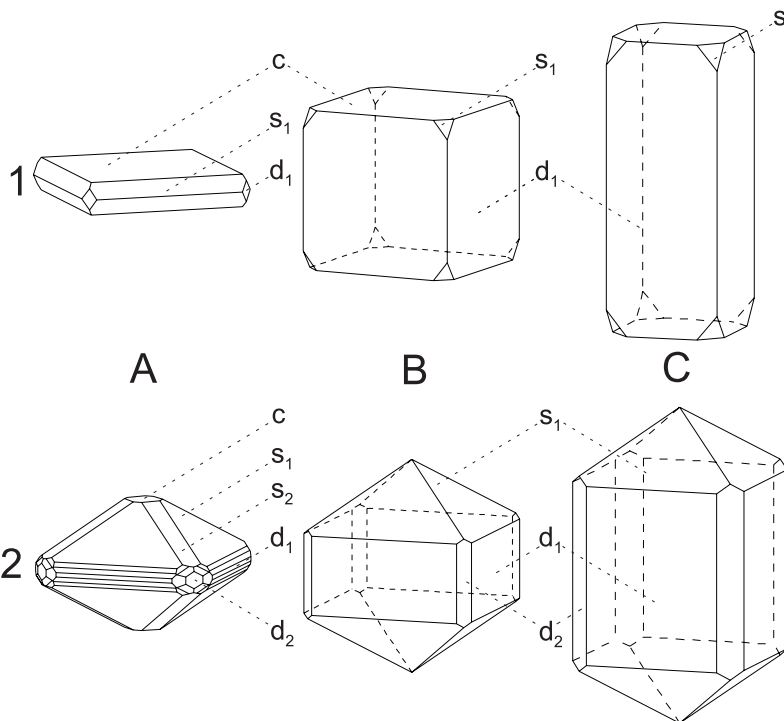


Slika 15: Oblike kristalov nekaterih mineralov so zavajajoče. Kristal na posnetku je kockaste oblike. Njegova oglišča so posneta s ploskvami, ki bi lahko ustrezale kristalnemu liku oktaedra. Podrobnejši pregled pokaže, da v kristalu potekajo vodoravne linije, ki so vzporedne s terminalnim robom. To so linije razkolnosti. Poleg tega so ploskve še navpično narebne. Ker so linije razkolnosti samo vodoravne, narebrenost pa samo navpična, ta mineral ne more biti kubičen. To je kristal apofilita, ki ima štirištevno holomorfijo. Navpično narebne ploskve zato ustrezajo kristalnemu liku prizme, trikotne ploskve pa liku tetragonalne bipiramide. Beli kristali spodaj so laumontit. Velikost kristala je 48 x 44 milimetrov. Nahajališče: Nasik pri Mumbaju v Indiji.

Foto: Mirjan Žorž.



Slika 16: Pri Potoj Čuki v vzhodni Srbiji je nahajališče idiomorfni kristalov vezuviana. Kristali imajo modelno obliko, ki jo določajo ploskve dveh tetragonalnih prizm in tetragonalne bipiramide. Kristal na posnetku je dolgoprizmatške oblike in meri 40 milimetrov. Foto: Mirjan Žorž.



Risba 15: Vrstica 1 prikazuje oblike kristalov fluoroapofilita, vrstica 2 pa vezuviana. Značilne oblike kristalov so sploščeni bipiramidalni 1A, kratkoprizmatški bipiramidalni 2A, izometrični prizmatški 1B, prizmatški bipiramidalni 2B, dolgoprizmatški 1C in dolgoprizmatški bipiramidalni 2C. Posamezne oblike se razlikujejo glede na razvitost ploskev prizem d in bipiramid s . Sploščenost je izrazitejša pri kristalih, ki imajo bolj razvite ploskve pinakoida c .

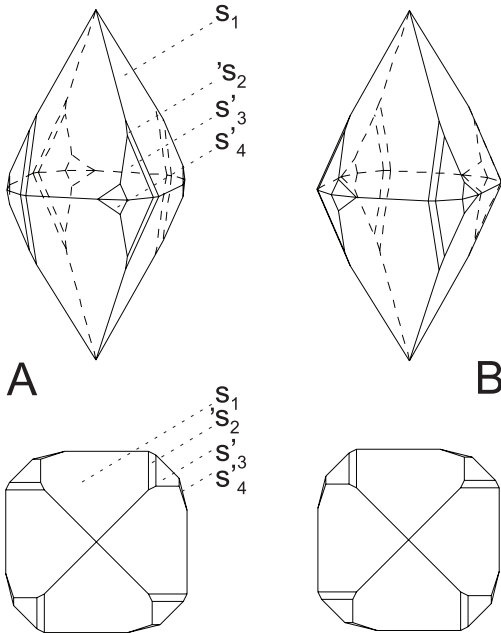
Risba: Mirjan Žorž.

Če holomorfiji odvzamemo dve ravnini simetrije, ki sta vzporedni s štirištevno osjo, dobimo štirištevno antimorfijo, ki ima največ osem enakih ploskev, ki ustrezajo tetra-

gonalni bipiramidi. Najznačilnejša predstavnika take simetrije sta scheelit in powellit.

Najnižjo štirištevno simetrijo – tripomorfijo – dobimo, če ima kristal samo še eno štirištevno os in nobene ravnine simetrije. Zaradi tega so možne le štiri enake ploskve z levo ali desno orientacijo, kar ustreza tetragonalni piramidi. Najlepši primer minerala s to simetrijo je wulfenit in prav

kristali iz Mežiškega rudnika najizraziteje kažejo vse značilnosti te simetrije. Njihova zgornja terminacija se razlikuje od spodnje, ki je omejena s pedionom. Nekateri kristali iz mežiškega rudišča Graben so tej simetriji primerno tudi svedrasto zviti.



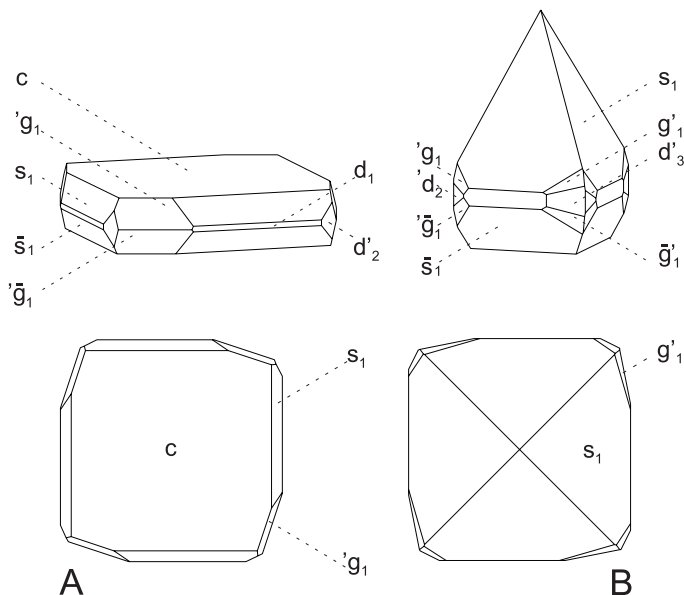
Risba 16: Najizrazitejšo štirištevno antimorfijo imajo kristali scheelita in powellitita. Imajo bipiramidalno obliko. Določajo jo ploskve bipiramide s_1 , ki se ji pridružijo še druge bipiramide z desno orientacijo s'_3 in s'_4 ter levo orientacijo s'_1 in s'_2 . Kot pri vseh antimorfijah se tudi pri tej z rotacijo okoli osi, ki je pravokotna na štirištevno os, orientacija ploskev spremeni iz desne (A) v levo (B) in obratno.

Risba: Mirjan Žorž.

Slika 17: Wulfenit ima redko štirištevno tripomorfno simetrijo. V večini svetovnih nahajališč kristali nimajo značilnosti te simetrije. Kristali iz Mežiškega rudnika pa so tej simetriji primerno razviti. Na levem posnetku je hemimorfno razvit kristal s ploskvami, ki se kažejo kot orientirana narebrenost. Na desnem posnetku so sploščeni kristali z manj izrazitim hemimorfizmom. Na zgornjem pedionu največjega kristala je opazna mreža, ki je odraz rasti ploskev piramide. Svetlejša gladka ploskev manjšega kristala pred njim pa ustreza spodnjem pedionu, na katerem se ploskve piramide niso razvile. Kristal na levi je velik 6 x 6 milimetrov in se je nahajal na devetem obzorju Union. Primerek na desni je velik 41 x 27 milimetrov, nahajal pa se je na desetem Unionskem obzorju. Slika: Mirjan Žorž.



Risba 17: Kristali wulfenita iz Mežiškega rudnika so značilni predstavniki štirištevne tripomorije, ker imajo hemimorfno obliko z levo ali desno orientiranimi liki. Pri sploščenih kristalih (A) je hemimorfnost manj opazna, zato pa je izrazitejša pri piramidalnih kristalih, ki nimajo ploskev zgornjega pediona c , ker prevladujejo ploskve zgornje piramide s_1 . Manj razvite so prizma d_1 , desni prizmi d'_2 in d'_3 ter leva prizma d_2 . Poleg teh so razvite še ploskve desnih gornjih piramid g'_1 in levih gornjih piramid g_1 ter desnih spodnjih piramid \bar{g}'_1 in levih spodnjih piramid \bar{g}_1 . Risba: Mirjan Žorž.



Štirištevni minerali – kubični $n = 4$

Če postavimo pravokotno na štirištevno os še dve enako dolgi štirištevni osi tako, da se vse med seboj sekajo pod pravim kotom, dobimo kubični osni križ. Posledično nastane četvero trištevni osi, ki potekajo v sredini med štirištevni osmi, in dvanajst ravnin simetrije. Če pogledamo kristal s to simetrijo vzdolž ene izmed trištevni osi, ugotovimo, da ima popolnoma enak presek kot kristal s trištevno simetrijo. Vsaka od petih kubičnih simetrij ima zato svoj ustreznik v petih simetrijah s trištevno simetrijo. Najenostavnejši kristali s tako simetrijo imajo obliko kocke. Enako simetrijo imajo oktaedri, ki so sestavljeni iz osmih enakih enakostraničnih trikotnikov, in rombski dodekaedri, ki so sestavljeni iz dvanajstih enakih rombov. Vsakega od naštetih likov lahko razdelimo na določeno število manjših, zaradi česar imajo kristali več ploskev. Vsako ploskev oktaedra lahko razdelimo na šest enakih raznostraničnih pravokotnih trikotnikov in dobimo 48 enakih ploskev, kar je hkrati tudi najvišje možno število

enakih ploskev, ki ustreza kristalnemu liku heksakisoktaedra. Čim več različnih likov in posledično ploskev ima kristal, tem bolj je okrogel. Zaradi enako dolgih osi uvrščamo kubične simetrije med sferične, ker se približujejo simetriji krogle. Minerali s to simetrijo so fluorit, halit, galenit, skupina granatov, loparit, magnetit, spinel ter baker, platina, srebro, zlato in diamant.

Če kubični holomorfiji odvzamemo vse diagonalne ravnine simetrije (risba 18: 2A), se vse tri štirištevne osi spremenijo v dvoštevne. Simetrija obdrži središče inverzije in pridobi antimorfni značaj. Ker pa imajo trištevne osi večjo števost, opazimo to značilnost vzdolž teh osi. Levo orientirane ploskve se ob zavrtenju kristala za 180 stopinj pravokotno na trištevno os spremenijo v desno orientirane in obratno. Število enakih ploskev se razpolovi na 24, kristalni lik s tem številom ploskev pa je diakis-pentagonski dodekaeder. Najznačilnejši predstavnik te simetrije je pirit.



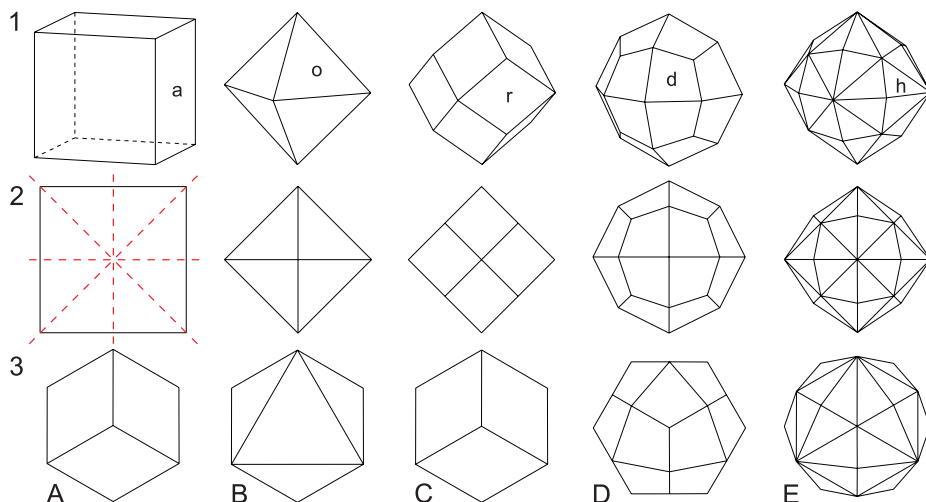
Slika 18: Na levem posnetku so kocke fluorita iz Osojnika pod Blegošem. Primerek meri 44 x 38 milimetrov. Na desnem posnetku je oktaeder fluorita iz Xianghualinga na Kitajskem, ki meri 38 x 28 milimetrov. Slika: Mirjan Žorž.



Slika 19: Andradit je mineral iz skupine granatov, ki kristalizirajo v kristalih, omejenih z 12 ploskvami rombskega dodekaedra. Na posnetku sta vidni štirištevna in trištevna os, kar je značilnost kubične holomorfije. Ploskve imajo tako imenovano parketno strukturo, ki je nastala zaradi kompenzacije rahle konkavne ukrivljenosti ploskev. Kristal z grškega otoka Serifos ima 14 milimetrov v premeru. Slika: Mirjan Žorž.



Slika 20: Kristali levcita na posnetku se približujejo obliki krogle zato, ker so omejeni s 24 ploskvami deltoidnega ikozitetraedra. Večji kristal ima 22 milimetrov v premeru. Najdišče: Mt. Saint Hilaire v Kanadi. Slika: Mirjan Žorž.



Risba 18: Oblike kristalov s štirištevno kubično holomorfijo. V prvi vrstici so prikazani v ortografski projekciji, v drugi so njihovi štirištevni in v tretji njihovi trištevni preseki. Najenostavnejši lik je kocka **a**, ki jo določa šest enakih kvadratnih ploskev (1A, 2A in 3A). Vsaka ploskev kocke ima eno pravokotno, eno vodoravno in dve diagonalni ravnini simetrije, ki so prikazane s prekinjenimi črtami (2A). Oktaeder **o** je sestavljen iz osmih enakostraničnih trikotnikov (1B, 2B in 3B). Pri rombskemu oktaedru **r** se število enakih ploskev, ki so rombi, poveča na 12 (1C, 2C in 3C), pri deltoidnem ikozitetraedru **d** je 24 enakih deltoidnih ploskev, heksakis-oktaeder **h** pa določa 48 enakih raznostraničnih trikotnikov. Slednji je za to simetrijo značilni lik z najvišjim možnim številom enakih ploskev. Čim več ploskev ima kristal s to simetrijo, tem bolj se njegova oblika približuje krogli.

Risba: Mirjan Žorž.



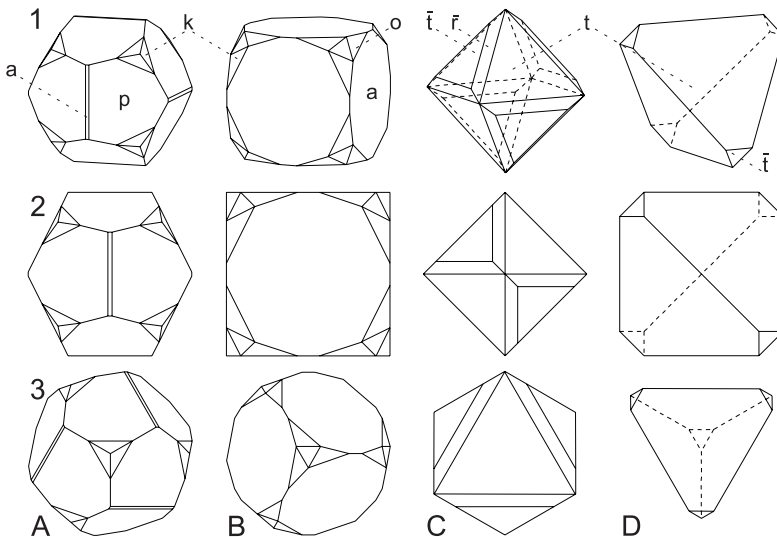
Slika 21: Ta oblika kristalov je za pirit tako značilna, da jo imenujemo piritoeder. Kristal je omejen z 12 ploskvami pentagonskega dodekaedra. Pirit ima nižjo dvoštevno kubično antimorfijo, kar se na kristalih kaže z odsotnostjo štirištevni osi. Svetla ozka ploskev zgoraj pripada kocki in leži na dvoštevni osi. Desno spodaj je trikoten vzorec treh ploskev diakis-pentagonskega dodekaedra, ki so razvrščene okoli trištevne osi. Na zrcalno nasprotni strani je enak trištevni vzorec. Kristal ima 44 milimetrov v premeru. Nahajališče: Ambagasuas v Španiji. Slika: Mirjan Žorž.



Slika 22: Kristal sfalerita, obraščen s kristali kremenca, iz rudnika Madan v Bolgariji. Kristal ima nižjo dvoštevno kubično simetrijo, zato je tetraedrske oblike. Zaradi te simetrije se iz ploskev oktaedra razvijejo štiri večje ploskve pozitivnega tetraedra in štiri manjše ploskve negativnega tetraedra. Ploskve obeh vrst tetraedrov se med seboj razlikujejo tudi po progavosti in sijaju. Slika: Mirjan Žorž.

Risba 19: Kubična smetrija, ki nima diagonalnih ravnin simetrije, je dvoštevna antimorfija, kar prikazujejo risbe 1A in 1B ter 2A in 2B. Na risbi 2A je presek izrazito dvoštevne pravokotne oblike, medtem ko je na risbi 2B dvoštevnost nekoliko manj očitna. Antimorfnost opazimo ob pogledu vzdolž troštevne osi, ki razkrije, da so ploskve levo (3A) in desno orientirane (3B). Minerali s to simetrijo so pogosto v

*kristalih, ki jih omejuje 12 enakih ploskev peterkotne oblike, vendar se stranice teh ploskev razlikujejo po velikosti. Te ploskve pripadajo liku pentagonskega dodekaedra **p**. Robovi med njimi so lahko odrezani s ploskvami kocke **a**, oglišča pa s ploskvami diakis-pentagonskega dodekaedra **k** (1A, 2A in 3A). Če je najbolj razvit lik kocka **a**, potem so tudi kristali take oblike (1B, 2B in 3B). Njihova oglišča so lahko odrezana s ploskvami oktaedra **o** in ploskvami diakis-pentagonskega dodekaedra **k**. Na kristalih se liki, ki so za to simetrijo*



*značilni, pogosto ne razvijejo. Če bi se na kristalu 1B ploskve lika **k** ne razvile, bi imel navidezno višjo holomorfno simetrijo, kar je pri piritu zelo pogosto.*

*Naslednja vrsta dvoštevne kubične simetrije nima vodoravnih in navpičnih ravnin simetrije. Zaradi dvoštevnosti se razvijejo liki pozitivnega tetraedra **t** in negativnega tetraedra **t̄**. Če sta oba lika približno enako razvita, imajo kristali navidezno oktaedrsko obliko (1C, 2C in 3C). Pogosto se pridruži še negativni triakis-tetraeder **t̄**. Kadar pa se, in to je pogosto, pozitivni tetraeder bolj razvije, imajo kristali enostavno tetraedrsko obliko (1D, 2D in 3D). Njihovi trištevni preseki so hemimorfni (3C in 3D).*

Risba: Mirjan Žorž.

Če odvezamo kubični antimorfiji vse navpične in vodoravne ravnine simetrije (risba 18: 2A), izgubi središče inverzije, namesto štirištevnih osi pa nastanejo dvoštevne. Kristali imajo vzdolž trištevnih osi enako simetrijo kot pri trištevni hemimorfiji. Tudi pri tej simetriji se število enakih ploskev razpolovi na 24, značilni kristalni lik pa je heksakis-tetraeder. Posledica tega je razvoj kristalov, ki so omejeni s štirimi enakostraničnimi trikotniki. Kljub nižji simetriji so

kristali lahko še vedno kockaste ali oktaedrske oblike, vendar je za slednje značilno, da se ena polovica oktaedrskih ploskev razlikuje od drugih vsaj po sijaju ali vzorcu. Če se jim pridružijo še drugi liki, dobijo kristali zopet precej kroglasto obliko. Najznačilnejši minerali s to simetrijo so iz skupin svetlic in medlic, kamor prištevamo sfalerit in tetraedrit.

(Nadaljevanje prihodnjič.)

Stoletnica Franck-Hertzevega poskusa • Fizika

Stoletnica Franck-Hertzevega poskusa

Janez Strnad

Pred sto leti sta James Franck in Gustav Hertz poročala o znamenitem poskusu. Za »odkritje zakonov, ki urejajo trk elektrona z atomom«, sta leta 1925 dobila Nobelovo nagrado iz fizike.

Franck-Hertzev poskus je bil pomemben za razvoj fizike. V drugi polovici 19. stoletja so poskusi in razmišljanja v različnih delih fizike podprli misel, da snov sestavljajo atomi. Proti koncu stoletja so odkrili elektron in spoznali, da je sestavni del atomov. Elektron ima negativni osnovni naboj, to je najmanjši prosti od nič različni naboj v naravi, in skoraj dvatisočkrat manjšo maso od mase najlažjega, vodikovega atoma. Spraševali so se, kako je v nevtralnem atomu razporejen pozitiven naboj z veliko maso, ki uravnovesi naboj elektronov z zelo majhno maso.

V laboratoriju Ernesta Rutherforda v Manchesteru so ugotovili, da se posamezni delci α iz radioaktivnega izvira na zelo tankih kovinskih lističih odklonijo za velik kot. To je pomenilo, da pozitivni del atoma na delec α deluje z veliko silo. Sila je velika le, če je pozitiven del atoma zelo majhen. Po tem

je Rutherford leta 1911 sklepal, da je pozitiven naboj v atomu zbran v *atomskem jedru*, stotisočkrat manjšem od atoma. Delec α je atomsko jedro helija. Elektroni, ki se gibljejo okoli jedra podobno kot planeti okoli Sonca, pa so spravili fizike v zadrego. Nabiti delec, ki se pospešeno giblje – in kroženje je pospešeno gibanje –, seva. S sevanjem bi elektron izgubljal energijo in nazadnje padel v jedro. Atomi ne bi bili obstojni. Snov pa je obstojna in obstojni so tudi atomi.

Niels Bohr, ki je gostoval na Rutherfordovem inštitutu, se je zavedel, da za ta primer ne morejo veljati klasični zakoni, ki veljajo za velika telesa. Max Planck je pojasnil sevanje segrelih teles z zamisljivo, da svetloba izmenjuje energijo s steno sevajočega telesa v energijskih obrokkih, *kvantih*. To misel je Bohr prenesel na atome. Po nekaj zapletih je leta 1913 sestavil model najpreprostejšega, vodikovega atoma. Ta edini elektron se lahko giblje okoli jedra samo po krožnicah z določenim polmerom. Določenemu polmeru ustreza določena energija. Vrednosti med dvema dovoljenima polmeroma in energijama so izključene. Bohr je privzel, da pri