Slovo úvodem. Toto speciální, monotematické číslo časopisu Povětroň je věnováno *impaktnímu kráteru Steinheim*. Může vám sloužit jako průvodce, který vás stručně seznámí s touto pozoruhodnou památkou na dávnou kosmickou katastrofu.

Miroslav Brož

Obsah

strana

Přední strana obálky: (a) Pohled na centrální vrcholek kráteru Steinheim z okrajového valu (lokalita Burgstall); na dně pánve jsou vystavěny obce Sontheim im Stubental a Steinheim am Albuch. Foto Miroslav Brož. (b) — Geologický řez Ostalbem v okolí kráteru Steinheim. i) Malm = Ober Weiss Jura = svrchní jura = bílá jura – vápence a slínovce; ii) Dogger = střední, neboli hnědá jura – prachovce; iii) Lias = spodní, neboli černá jura – prachovce; iv) Keuper = svrchní trias – pískovec a slínovec; v) Muschelkalk = střední trias (zde tvořený lasturovým vápencem s četnými stránkami brachiopod vápencem), Buntsandstein = spodní trias (zde tvořený polymiktním pískovcem), Rotliegendes = rotes totes Liegendes = červená jalovina = spodní perm – červené jílovce, prachovce a pískovce; vi) krystalinické podloží. 2 krát převýšeno. Převzato z [4].

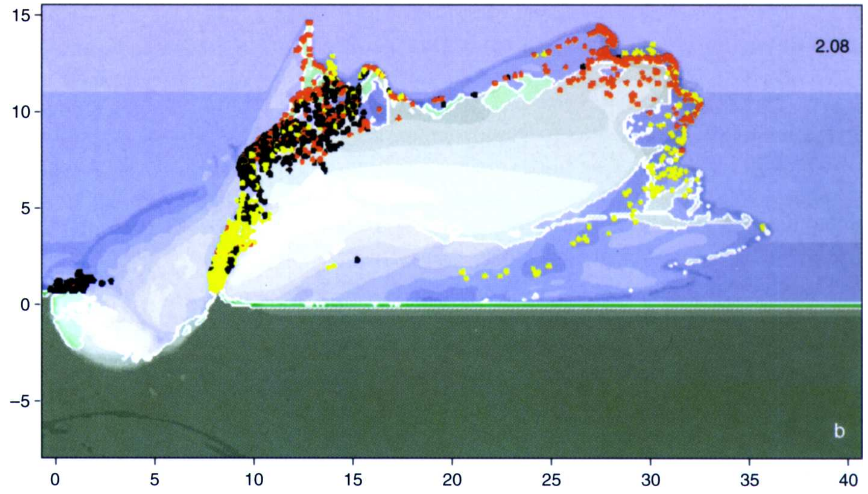
Elektronická (plnobarevná) verze časopisu Povětroň ve formátech PDF, PostScript a HTML je k dispozici na adrese:
`http://www.astrohk.cz/ashk/povetron/`

Povětroň S1/2003; Hradec Králové, 2003.
Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (1. 3. 2003 na 144. setkání ASHK) ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**
vydání 1., 20 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213–659X
Redakce: Miroslav Brož, Martin Lehký, Martin Navrátil a Miroslav Ouhrabka
Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,– Kč za číslo (včetně poštovného)
Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828
e–mail: ashk@email.cz, web: http://www.astrohk.cz/ashk/

kvartér = čtvrtohory	
holocén	(0,01 Ma)
pleistocén	(1,8)
terciér = třetihory	
neogén	(24)
paleogén	(65)
mezozoikum = druhohory	
křída	(140)
jura	(200)
trias	(250)
paleozoikum = prvohory	
perm	(298)
karbon	(354)
devon	(410–17)
silur	(440)
ordovik	(490)
kambrium	(545)
proterozoikum = starohory	(2500)
archaikum = prahory	(4600)

jura		
svrchní = malm		
	tithon	(~135–144 Ma)
	kimmeridž	
	oxford	
střední = dogger		
	callov	
	bathon	
	bajok	
	aalen	
spodní = lias		
	toark	
	pliensbach	
	sinemur	
	hettang	(~206)
trias		
svrchní		
střední		
spodní = scyth		

Tab. 2 — (a) Geologické éry a útvary (v závorce je uváděn začátek útvaru v Ma). (b) — Základní stratigrafické dělení jurského a triasového útvaru (na oddělení a stupně). Zjednodušeno podle [5].



vystavěny obce Steinheim am Albuch a Sontheim im Stubental. Zeměpisné souřadnice středu kráteru jsou 10° 4′ v. d, 48° 41′ s. š., 541 m n. m.

Asi 40 kilometrů severovýchodně od Steinheimu se nachází kráter Nördlinger Ries.

Doprava. Do oblasti Steinheimu se můžeme z České republiky dopravit automobilem (např. směr Plzeň, Domažlice, Česká Kubice, Furth i Wald, Regensburg, Ingolstadt, Donauwörth, Nördlingen, Heidenheim); od hranic je to přibližně 250 km.

Vlakem obvykle jedeme z Prahy do Plzně, Chebu, Marktredwitz, Nürnberg, Donauwörth, Nördlingen, Aalen, Heidenheim.

Morfologie. Základní data shrnuje tab. 1. Tento *komplexní kráter* má průměr 3,4 km, současnou hloubku 100 až 200 m; centrální vrcholek (zvaný Klosterberg) převyšuje dno kráteru o 50 až 55 m.

střední průměr	3400 m
průměr cetrální vyvýšeniny	1000 m
výška okraje kráteru	640 m n. m.
dno pánve	∼ 525 m n. m.
centrální vrcholek	578 m n. m.

Tab. 1 — Zeměpisné údaje o Steinheimské pánvi.

Geologická situace. Přehledná geologická mapa je na obr. 14; geologický řez Steinheimem je zobrazen na titulní straně.

Steinheimský kráter se nachází při jižním okraji sedimentárního pokryvu epivariské platformy. Hluboké podloží zde tvoří zvrásněné horniny podobné např. šumavským, a toto podloží je překryto nezvrásněnými a víceméně vodorovně uloženými sedimenty nejmladších prvohor a druhohor, viz popis k obrázku na obálce.

V oblasti Steinheimu pozorujeme: i) *přemístění bloků* malmským vápenců a vytvoření kruhového valu; ii) *centrální vrchol*, kde vystupují (starší) horniny doggeru, vyvýšenina je však zřetelná i v podložních vrstvách až do hloubky 400 m; iii) vznik vápencových *brekcií*, případně jejich vyvržení a dopad zpět do pánve — fall-back brekcie o mocnosti až 50 m, často v nich nalézáme *nárazové kužele*; iv) v horninách s křemenem jeho *vysokotlaké modifikace* (minerály coesit a stišovit).

Na svazích kráteru a centrálního vrcholku se nacházejí třetihorní jezerní sedimenty, o mocnosti 20 až 30 m, často s hojnou fosilní faunou a flórou.

V nejnižší části pánve jsou uloženy čtvrtohorní jíly a štěrky.

Vznik a vývoj impaktního kráteru

Výše uvedená pozorování dobře vysvětluje následující scénář (sledujte též schéma na obr. 2):

z okolních prachovců. V této sníženině, jedné z mála vodních ploch v suchém Ostalbu, se vytvořilo specifické rostlinné společenství se vzácnou Vachtou trojlistou (*Menyantens trifoliata*). Sníženinu také vyhledávají ropuchy i jiné žáby a mloci jako místo k rozmnožování.

17 Pharionská pískovna

Pharionská pískovna je světoznámé naleziště fosilií. Dnes je vyhrazeno pouze pro povolené vědecké sběry, které jsou zde prováděny od roku 1969. Systematická ochrana naleziště umožnila podstatně rozšířit naše znalosti o více než 13 či 14 milionů let starém živočišném a rostlinném světě svrchního miocénu. Nálezy jsou vystaveny v Muzeu meteorického kráteru.

„Šnekové písky“, které se nacházejí v pískovně, dostaly své jméno podle hojně se vyskytujících ulit fosilních plžů. Jedná se nejčastěji o malé ploché ulity rodu Gyraulus (obr. 5). V písku se nacházejí malé „tácky“ řas (Stotzen) s hnědavým aragonitem a vápencovými deskami s bělavým až namodralým „prokřemeněním“; ve skutečnosti se však jedná o inkrustaci chalcedonem, dříve označovaným jako opál. Na cestě ze Steinhirtu kolem válečného památníku k pískovně se v půli svahu nachází informační tabule pro sběratele.

18 Pohled na Steinhirt

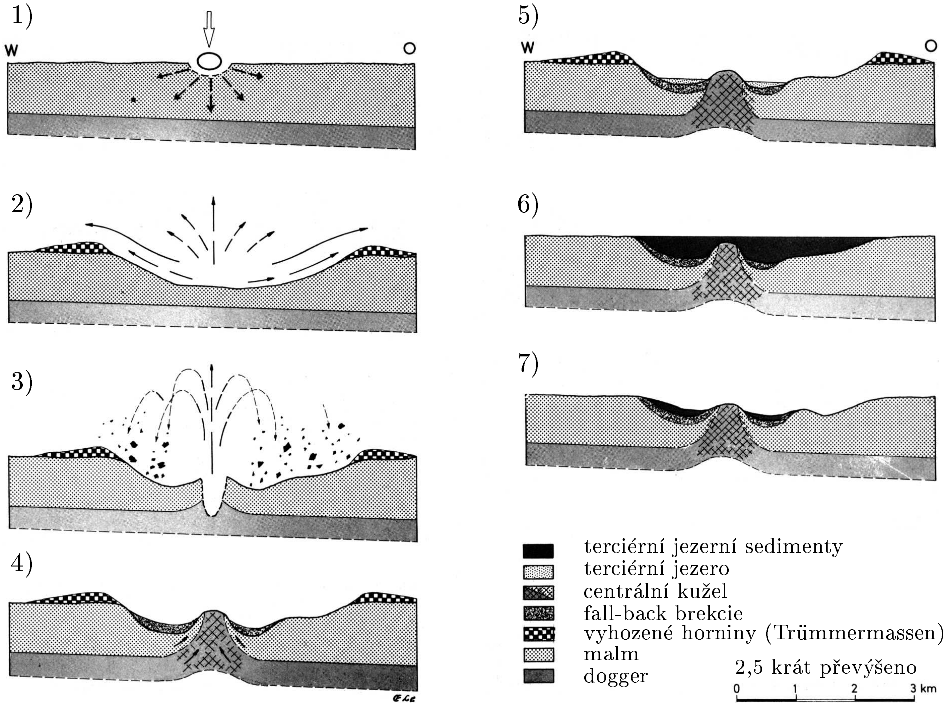
Skupina skal na výšině Steinhirtu je žalostným zbytkem kdysi působivého věnce řasového vápence (viz zastávka č. 15), který kdysi obklopoval centrální pahorek. V roce 1860 byl totiž odtěžen na štěrk pro stavbu železnice v Brenztalu. Část výchozu tohoto sladkovodního vápence spočívá na nepropustných doggerských prachovcích. Ty tvoří místní izolátor, takže prosakující dešťová voda se shromažďuje na rozhraní vápence a prachovce a poté vyvěrá malým pramenem.

19 Sontheim — v bažině

Vrt provedený v tomto místě dosáhl dna kráteru v hloubce 70,5 m. Výše se nachází 36,5 m mocná poloha brekcie, vytvořené horninami napadanými zpět do kráteru. V jejím nadloží se nacházejí třetihorní vápnité organogenní jíly a vápence o mocnosti 25,5 m — usazené v kráterovém jezeře. Nejmladším členem profilu jsou kvartérní štěrky, přinesené řekou tekoucí v údolí Wental, o mocnosti 8,5 m.

20 Schäfhalde

Suť malmského vápence nad okrajem kráterové sníženiny je místy silně prokřemenělá. Od neprokřemenělé suti ji rozeznáme většinou už zdálky podle silnějšího mechového porostu. Dalším příznakem jsou porézní, často hnědavě zabarvené kůry z kysličníku křemičitého. Vznikly usazením SiO_2 v trhlinkách vápence. Ve čtvrtohorách byl při zvětrávání vápenec rozpuštěn, a zůstala křemičitá kostra. K prokřemenění suti došlo během zvětrávacích procesů v terciéru, kdy bylo tepleji



Obr. 2 — Schéma formování Steinheimské pánve: 1) dopad meteoritu před (15,1±0,1) My, šíření rázové vlny; 2) vznik kráteru při explozi meteoritu, výhoz hornin a vytvoření valů; 3) výhoz z centra a opětovné ukládání brekcií na dno kráteru; 4) výstup cetrálního kužele při relaxaci; 5) průnik podzemní vody a vznik jezera, začátek eroze valů a sedimentace na dně jezera; 6) vrchol vyplňování kráteru v terciéru; 7) ustavení dnešní podoby Steinheimu při kvartérní říční erozi.

Datování a souvislost s Riesem. Čas dopadu Steinheimského meteoritu lze odhadnout z nejstarších třetihorních fosilií, které vznikly při jezerní sedimentaci — vychází přibližně 15 milionů roků (svrchní torton, tj. stratigrafický stupeň miocénu, mladších třetihor).

Mocnost platformního pokryvu je zde větší než v Riesu, impaktující těleso bylo naopak menší, což dohromady vedlo k tomu, že při impaktu zde nebyly, na rozdíl od Riesu, přeměněny nebo vyvrženy horniny krystalinického podloží. Ve vápencích nevznikají skla (jako v rieském suevitu) a není tedy možné užít přesnější radiometrická datování vzácných plynů, které v nich bývají uzavřeny.

V každém případě vychází věk kráteru ve Steinheimu zhruba týž jako v případě většího „souseda“ Nördlinger Ries (o průměru 25 km). Pravděpodobnost nezávislého dopadu dvou takto velkých meteoritů (průměry 80 m a 1 km) v krátkém časovém období (daném chybou datování Steinheimu) a tak blízko sebe (40 km)

10 Galgenberg

Galgenberský výchoz je tvořen chaoticky nakupenými bloky vápenců středně a svrchněmalmského stáří, které byly značně tlakově postiženy při impaktu. Jde tedy o horniny odlišné od sutí kráterového valu, které se nacházejí v údolí Burgtall. Svisle vztyčené i šikmé vápencové desky s vyvětralými rohovcovými hlízami, které vidíme v galgenberském lesíku, poskytují působivý obraz enormních sil, které zde při impaktu působily. Vztyčené vápence galgenberského výchozu jsou možná projevem nedokonale vytvořené kruhové tektonické struktury, která je typická pro tzv. komplexní impaktní krátery.

11 Zářez cesty na severním Galgenbergu

Východní strana: Šikmo vztyčené a ke středu pánve ukloněné slabě zvětralé lavicovité vápence (tiL).

Západní strana: Značně zvětralé až písčitě rozvětralé podložní lavicovité vápence, jejichž zvrstvení již není rozeznatelné.

12 Jižní Galgenberg

V území mezi galgenbergským výchozem a Knillem je jedno z mála míst, kde bylo možné prokázat na povrchu země drť, vyvrženou z kráteru. Leží zde jako tenký pokryv zvětralých svrchnojurských vápenců.

13 V bažině

Název pláně upozorňuje na kyselé bažinaté půdy, které vznikly na vododržných nánosech bývalého kráterového jezera.

Vrt 22 poskytl následující profil: 4 m kvartérní hlíny; 20 m terciérních sedimentů: vápnitý organogenní jíl a vápenec; 68 m brekcie, vytvořené z hornin napadaných zpět do kráteru: svrchní a střední jura. V hloubce 92 m bylo dosaženo dna impaktního kráteru. To je tvořeno rozdrceným lavicovitým vápencem z bílé jury.

14 Klosterberg

Klosterberg tvoří centrální vyvýšeninu Steinheimské pánve. Stavební výkopy a vrty ukázaly, že vrstvy báze svrchní a střední jury (malmu a doggeru) byly rozdrceny na bloky a tyto byly při relaxaci v pozdní fázi impaktu vytlačeny až k povrchu. Maximální výzdvih nejhlubších vrstev střední (hnědé) jury činí asi 380 m. Ta tvoří jádro centrálního vrcholku, kolem něhož je místy vyvinut plášť z hornin spodního malmu. Klosterberg je tvořen vrstvami vyzdvižených a roztříštěných hornin. Vrstvy jsou ukloněny ven, ve směru od centrálního pahorku. V samotném jádru se nachází bloková brekcie, ve které jsou jednotlivé úlomky vztyčeny převážně svisle, což je patrné podle jejich původního zvrstvení. Teprve v hloubce několika set metrů vrstvy přecházejí do šikmého uložení (obr. na titulní

Muzeum v Sontheimu

Prohlídku geologického muzea v Sontheim im Stubental můžete uskutečnit každý den mimo pondělí od 9 do 12 h a od 14 do 17 h. Přestože má muzeum jen 2 místnosti, počítejte s 1 až 2 hodinami na jeho důkladnou prohlídku. Můžete zde zakoupit i některé publikace a mapy uvedené v referencích. Adresa: Meteorkrater Museum, Hochfeldweg 4, 89 555 Steinheim am Albuch, Ortsteil Sontheim, tel. +49 7329 960656.

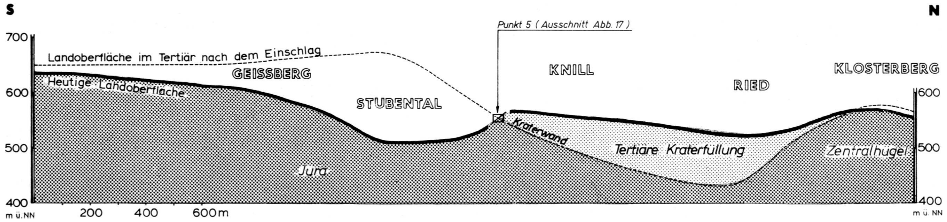
Již ve vstupní chodbě narazíte na působivý třírozměrný obraz Steinheimského kráteru, ukazující, jak místo vypadalo v období existence jezera (tj. v třetihorách), včetně tehdejší flóry a fauny.

První část expozice je věnována vzniku samotného kráteru, historii jeho geologického výzkumu, souvislostem meteoritů s meziplanetární hmotou, porovnání s jinými impaktními krátery na Zemi (zvláště s Barringerovým kráterem v Arizoně v USA a kráterem Nördlinger Ries). Vystaveny jsou ukázky různých druhů meteoritů (3 chondrity, 1 pallasit a 2 oktaedrity) a malá sbírka nárazových kuželů z Evropy, Severní Ameriky a Austrálie (obr. 4).

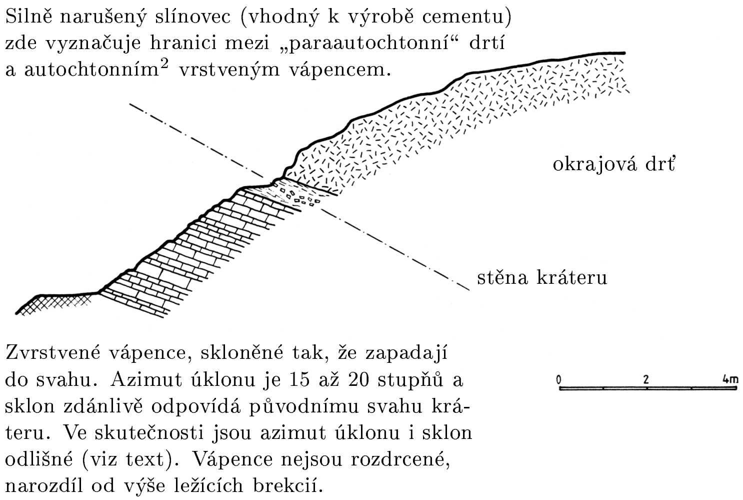
Obr. 4 — 30 cm velký nárazový kužel ze Steinheimu, vystavený v muzeu meteorického kráteru.

Druhá místnost nabízí podrobnou exkurzi jezerním obdobím: desítky fosilií třetihorních rostlin, plžů, ryb, želv, žab, ptáků, malých hlodavců i vyšších savců jsou důkazem bohatého života ve vodách jezera i v okolí jeho břehů. Celkem bylo v oblasti nalezeno 230 druhů živočichů a 90 druhů rostlin. Zkameněliny nám dovolují blíže poznat i hydrologické poměry v jezeře — např. opakované

svah kráteru se do severního svahu údolí Stubental, tedy na jižní úbočí pahorku Knill, promítá pouze jako linie. Obr. 9 ukazuje, jak je třeba si představit polohu bývalého kráterového svahu v dnešním svahu údolí Stubental. Tam, kde původní svah kráteru (vyznačen tečkovanou čarou) dosahuje třetihorního povrchu země (před dopadem meteoritu), se nacházel okraj kráteru. Řeka v údolí Stubental se později zařízla přibližně podél okraje kráteru. Tím se vysvětluje oblouk údolí Stubental na jihu Steinheimské pánve.



Obr. 9 — Řez jižní polovinou původního kráteru a dnešní Steinheimské pánve a dále k ní se připojujícím Stubentalem. Převzato z [4].



Obr. 10 — Jižní svah Knillu, okraj kráteru. Převzato z [4].

V odkryvu jsou obnaženy vrstvy deskovitých vápenců, tvořící polohy ve slínovcích. Tyto vrstvy byly při impaktu nakloněny. Azimut jejich úklonu je 150° až 200°. Sklon deskovitých vápenců ale neodpovídá sklonu ani azimutu kráterového

[2] v původním uložení

[8] Pravec, P. aj.: *Two-Period Lightcurves of 1996 FG3, 1998 PG, and (5407) 1992 AX: One Probable and Two Possible Binary Asteroids.* Icarus, **146**, 1, 2000, s. 190–203.
[9] *Rieskrater–Museum Nördlingen.* `http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/sammlung/Rieskrater/RieskraterMuseum.html`
[10] Skála, R.: *Impact process: An important geological phenomenon.* Acta Mus. Nat- Pragae, Ser. B., Hist. Nat., **52**, 1996, s. 111–156.
[11] Staudacher, T. aj.: *$^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of rocks and glasses from the Noerdlinger Ries crater and the temperature history of impact breccias.* J. of Geophysics, **51**, 1, 1982, s. 1–11.
[12] *The Ries / Steinheim impact crater field trip.* `http://www.earthsciences.ucl.ac.uk/research/planetaryweb/field/knodle.htm`

U muzea začíná naučná stezka — jejích 23 zastávek popisujeme v následujícím článku. Steinheimský kráter je bezpochyby jednou z nejkrásnějších přírodních památek; pojedete-li okolo, byla by neodpustitelná chyba se tu nezastavit!

Geologická naučná stezka

Paul Groschopf, Winfried Reiff

Geologická naučná stezka začíná a končí u Muzea meteorického kráteru v Sontheimu (schematická geologická mapa s jednotlivými zastávkami je na obr. 14). Její délka je 6, popř. 9 km. V terénu je vyznačena červenobílými pruhy.

1 Muzeum meteorického kráteru

Viz poslední kapitolu v předchozím článku.

2 Bývalý lom Burgstall — vnitřní stavba okrajové zóny kráteru

V místě dopadu meteoritu se původně nacházely vodorovně uložené lavicovité vápence svrchní (bílé) jury, tedy malmského stáří, obsahující četné pazourkové hlízy. Při impaktu byly rozdrceny na jednotlivé bloky hornin a ty byly buď vyhozeny, nebo vytlačeny z vnitřku kráteru k jeho okraji. Přitom došlo k tak silnému stlačení hornin, že byly místy změněny k nepoznání. Z dálky se nám jeví, jakoby Burgstall sestával jen ze samého vápence. Teprve při pozorném pohledu lze rozeznat podrcenou původní horninu ve formě nepravidelných poloh hrubě úlomkovité vápencové brekcie, obklopených drobně úlomkovitou brekcií, kterou zde přirovnávají k „vápencové krupici“. Mezi tím se nacházejí zbytky šikmo uložených deskovitých vápenců; většinou jsou podrcené, ale někdy také zvrásněné (obr. 6 a 7).

Obr. 6 — Bývalý kamenolom na Burgstallu. Odkryty jsou bloky zvrstvených deskovitě odlučných vápenců, v nichž jsou vrstvy různě zvrásněny nebo nadrobno rozdrceny. Foto Miroslav Brož.

Obr. 7 — Detailní snímek vápencové brekcie z Burgstallu; 2 krát zmenšeno. Foto Miroslav Brož.

3 Burgstall — pohled na Steinheimskou pánev

Z místa středověkého hradu, ze kterého se do dnešních dob dochovaly jen zbytky základů, má návštěvník téměř celou Steinheimskou pánev před sebou. Zalesněné výšiny na obzoru přibližně vyznačují bývalý okraj kráteru. Uprostřed