

PAVLA HRUBCOVÁ
JAN ŠÍLENÝ

Když se chvěje zem

Jak silné je zemětřesení?

Zemětřesení na Chebsku v západních Čechách se v posledních letech stávají pravidelným fenoménem. Dvě poslední z konce května však byla opravdu silná a přišla bez předchozího varování. Při druhém praskaly zdi, padaly obrazy. Kde všude jsme ho pocítili?

Na konci května zasáhlo západní Čechy nejsilnější zemětřesení za posledních 29 let. Epicentrum bylo na Chebsku u Nového Kostela, záchvěvy cítili lidé v západních i středních Čechách, a dokonce i v Praze. Otřesy měly sílu o magnitudu 4,5 a blížily se dosud nejsilnějšímu zemětřesení v roce 1985, které mělo magnitudu 4,6. Hasiči zaznamenali prasklé zdi a spadlý komín. Chvění bylo natolik silné, že lidé vybíhali z domů. Bylo slyšet hučení a následnou silnou ránu zaznamenali a slyšeli desítky kilometrů daleko až v Sokolově. „Třásl se sklenice, i kocour vyběhl se zježenými chlupy,“ popisovali nebyvale intenzivní záchvěvy v Sindelově, jež leží severně od epicentra otřesů. Lidé v těchto místech cítili, že vlna jde od jihu směrem na sever. „Voda ve vaně se začala vlnit a dům se kymácel. Byly to takové jemné vibrace, jako kdyby někdo venku bušil pneumatickým kladivem. Polekal jsem se,“ popisuje další občan. V Kraslicích se převrhla láhev piva stojící venku na dlažbě, v Plzni jako by „poskočila“ těžká skříň bez jakéhokoliv důvodu. Co se tedy vlastně dělo?

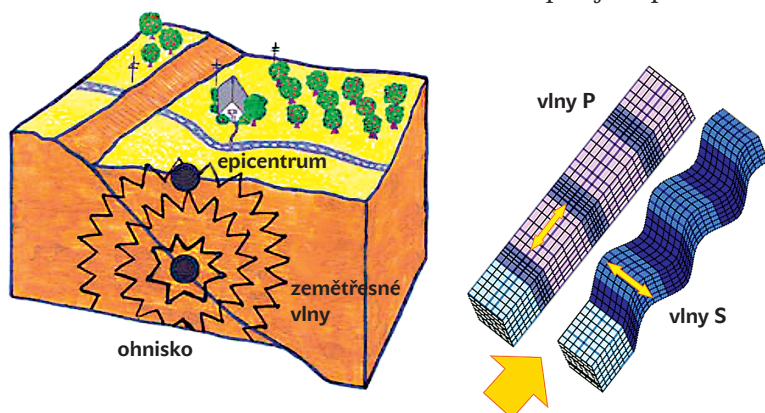
Západní cíp našeho území spolu se sousední částí Německa, ohraničený přibližně městy Kraslice, Karlovy Vary, Mariánské Lázně, Marktedwitz, Selb a Plauen, je znám častým výskytem slabších zemětřesení. Zemětřesení se zde zpravidla vyskytují v sériích, tzv. rojích, kdy v období několika dnů až měsíců dojde ke stovkám až tisícům otřesů. Mezi jednotlivými zemětřesnými roji bývají období klidu trvající několik let. Nejsilnější zemětřesení v této oblasti pak jsou pozorována

obyvateli i v širším okolí a mohou způsobit i škody na budovách.

Zemětřesení se zde objevují dlouhodobě. První dochovaná zpráva o západočeských zemětřeseních pochází již z 16. století, první strojová registrace západočeských zemětřesení byla zahájena na počátku 20. století, kdy v roce 1908 byla ve sklepě gymnázia v Chebu zřízena první seismická stanice. Současná zemětřesení jsou soustavně registrována seismickými stanicemi v síti WEBNET a vyhodnocována v Geofyzikálním ústavu AV ČR. Moderní digitální monitorování ukázalo, že ohniska zemětřesení se shlukují v několika oblastech, především poblíž obcí Nový Kostel, Skalná či Kraslice, na německé straně v okolí měst Klingenthal, Plauen a Marktedwitz. Oblast kolem Nového Kostela je místem, kde je zemětřesná činnost nejintenzivnější, hloubky ohnisek zemětřesení se pohybují od 6 do 15 km. Omezení zemětřesné činnosti na tato místa ovšem nevylučuje, že při příštím zemětřesném roji nemůže dojít k „probuzení“ některé jiné části západočeského regionu.

Příčinou zemětřesné činnosti v západních Čechách je patrně oslabení zemské kůry, které se během geologického vývoje projevilo mimo jiné vznikem Chebské a Sokolovské pánev a sopečnou činností. Pozůstatkem sopečné činnosti jsou dnes četné prameny minerálních vod a výrony oxidu uhličitého, tzv. mofety. Západočeská oblast je díky tomu známá nejen proslulými lázněmi, ale také neobvyklými přírodními úkazy jako např. přírodní rezervací Soos v Chebské pánvi s bahenními sopkami. Zemětřesení na Chebsku jsou častá a zem se zde chvěje, byť neznatelně, téměř pořád. Díky pozvolnému uvolňování energie ale otřesy jen málokdy dosáhnou magnitudy 4. Nejsilnější otřesy, při nichž

1. Šíření seismických vln z místa vzniku zemětřesení, ohniska. Zemětřesení generuje vlny P (primární, podélné) a vlny S (sekundární, příčné). Vlny P se šíří rychleji a jedná se o stlačování a rozpínání hornin ve směru šíření vlny. Vlny S kmitají kolmo na směr šíření, jsou pomalejší a větší. Epicentrum představuje kolmý průmět vlny P ohniska na zemský povrch.



RNDr. Pavla Hrubcová, Ph.D., (*1965) vystudovala geofyziku na Přírodovědecké fakultě UK, doktorské studium absolvovala na Matematicko-fyzikální fakultě UK. Od roku 1999 pracuje v Geofyzikálním ústavu AV ČR, v. v. i., kde se zabývá šířením seismických vln a modelováním strukturních vlastností zemské kůry a svrchního pláště.

RNDr. Jan Šílený, CSc., (*1952) vystudoval geofyziku na Matematicko-fyzikální fakultě UK, vědeckou aspiranturu absolvoval v Geofyzikálním ústavu ČSAV. Po krátkém působení v Ústavu geologie a geotechniky ČSAV (nyní Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i.) přešel do Geofyzikálního ústavu ČSAV (nyní GFÚ AV ČR, v. v. i.), kde se zabývá modelováním seismického zdroje.

Energie a intenzita zemětřesení

K vyjádření síly otřesů se používají dvě rozdílné veličiny, magnitudo a makroseismická intenzita. **MAGNITUDO** je záležitost přístrojová a určuje se z posunutí půdy zaregistrovaného seismickými přístroji. Je to číslo a souvisí s energií, která se v průběhu zemětřesení v jeho ohnisku uvolnila. Energie jako fyzikální veličina je určena pro každé zemětřesení jednoznačně, bez ohledu na jeho vzdálenost od pozorovatele či hloubku ohniska. Pro každé zemětřesení je charakteristické právě jedno magnitudo. Navíc je magnitudo veličina logaritmická a to znamená, že zemětřesení s magnitudem o jednotku vyšším představuje třicetkrát vyšší uvolnění energie.

Magnitudo však bezprostředně nevypovídá o velikosti účinků zemětřesení v konkrétním místě pozorování, neboť zde kromě samotné energie otřesu hraje roli ještě vzdálenost od epicentra, hloubka ohniska a lokální geologické podmínky v místě pozorování. Velikost účinků zemětřesení na povrchu odráží **MAKROSEISMICKÁ INTENZITA**, která se měří v tzv. makroseismických stupních a zahrnuje jmenované vlivy. Makroseismické stupně se stanovují neinstrumentálně z bezpro-

středního pozorování účinků zemětřesení na objekty a krajinu a z pocitů pozorovatelů. Logicky tedy velkou roli hraje kvalita popisu pocitěných účinků a statistický přístup při zpracování hlášení.

Každé zemětřesení tak charakterizuje jediná hodnota magnitudo, odpovídající množství uvolněné energie v ohnisku, zatímco intenzita otřesů na povrchu se mění podle místa, kde pozorujeme účinky zemětřesení; klesá se vzdáleností od epicentra a závisí na vlastnostech podloží. Intenzita je právě ta veličina, která nám říká, jak moc a kde se země třásla. Intenzita se používá pro ocenění seismického ohrožení v dané lokalitě nebo pro odhad síly historických zemětřesení. Význam má také pro stavební inženýry a pro pojišťovny, které mají sjednané plnění od daného stupně makroseismické škály.

Na určení makroseismické intenzity existuje několik stupnic. První mezinárodní rozšířená byla desetistupňová Rossiho-Forelova stupnice z roku 1883; základem všech moderních dvanáctistupňových škál je však stupnice Siebergova, později přepracovaná jako Mercalliho-Cancianiho-Siebergova (MCS). Nejmodernější a v současné době v Evropě nejpoužívanější je dvanáctistup-

ňová stupnice EMS-98, vyvinutá Evropskou seismologickou komisí a používaná od roku 1998. Od používání starší stupnice MSK-64 autorů V. Medvěděva, W. Sponheuera a V. Kárníka (Vít Kárník byl významnou postavou evropské seismologie, který pracoval desítky let v Geofyzikálním ústavu tehdejší Československé akademie věd) se dnes již ustupuje, protože tato stupnice mimo jiné nezahrnuje moderní typy stavebních materiálů i stavebních postupů aplikovaných hlavně v místech ohrožení. Navíc stupnice EMS-98 je navržena tak, aby snížila míru subjektivity, a bere v úvahu stav budov, jejich typ, stáří či výšku, velikost a četnost poškození a statisticky je zhodnocuje. Zohledňuje tedy možnost poškození např. moderní výškové železobetonové stavby oproti staré chalupě (je jasné, že železobetonová stavba je proti staré chalupě odolnější, a proto odolá i silnějším otřesům). Určení makroseismické intenzity po zemětřesení spočívá v analýze údajů z makroseismických dotazníků. Pro Českou republiku tuto informaci vyhodnocuje Geofyzikální ústav AV ČR, elektronická verze dotazníků je na webové stránce (www.ig.cas.cz/makroseismicky-dotaznik). Pokud se však vyplněných dotazníků nesejde statisticky významný či dostatečný počet, na mapě, která se podle získaných informací sestavuje, bude prázdné místo tam, kde pozorování chybí. Tak může dojít ke zkreslení výsledné intenzity a může to vést až k tomu, že pojišťovna nezaplatí způsobenou škodu.

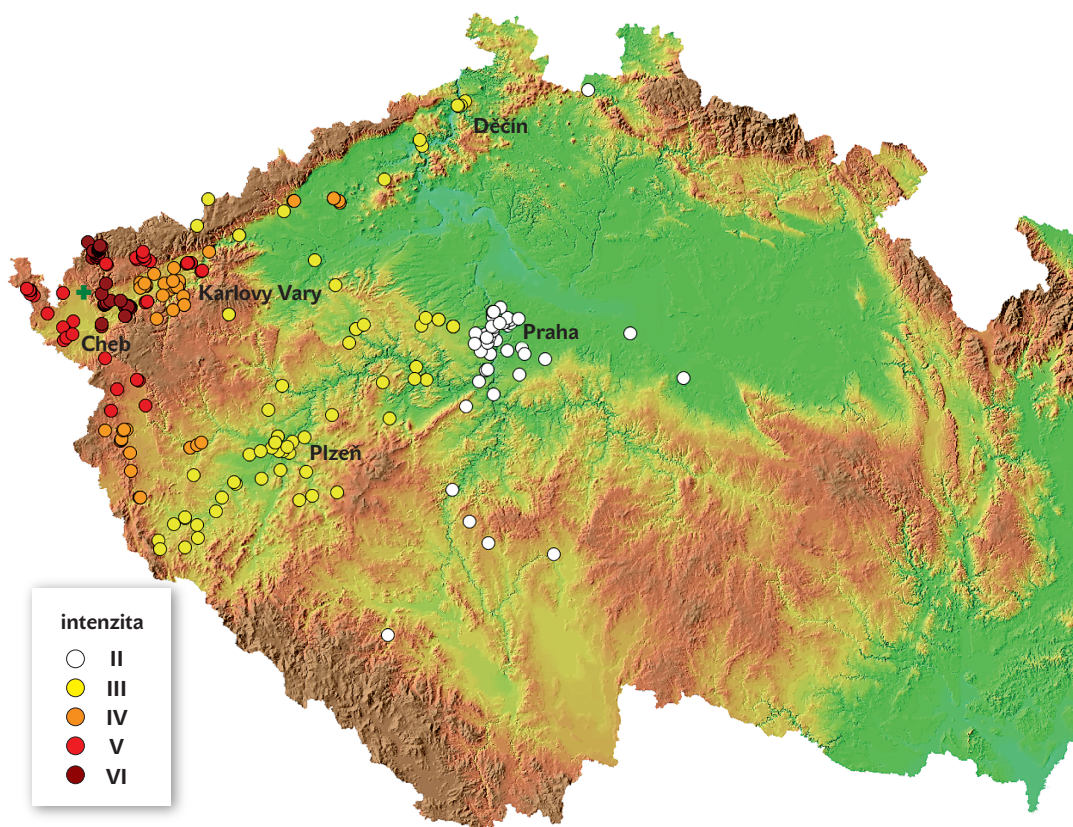
praskaly zdi a padaly komíny, byly zaznamenány na přelomu let 1985 a 1986. Zemětřesený roj tehdy trval asi tři měsíce a dosáhl zatím nejvyššího zaznamenaného magnituda 4,6. Mezi silnější zemětřesné roje, které byly pocítěny místními obyvateli v této oblasti, patří také roj z podzimu 2008, z období říjen až prosinec, i když tento roj byl energeticky slabší (magnitudo „jen“ 3,8). Ve 20. století pak byly zaznamenány významnější zemětřesné roje ještě v roce 1908 a na přelomu let 1936 až 1937.

Nejintenzivnější zemětřesná činnost je v oblasti kolem Nového Kostela a zemětřesení na konci května 2014 patří mezi nejsilnější otřesy v této oblasti za posledních sto let. Otřesy ze soboty 24. května (magnitudo 3,6) a 31. května 2014 (magnitudo 4,5) pocítili lidé nejen na Chebsku či Sokolovsku, ale i ve vzdálenějších městech nebo obcích jako například v Karlových Varech, Plzni či v Chomutově. K těmto otřesům bylo v Geofyzikálním ústavu shromážděno celkem 275 makroseismických dotazníků z širokého území; nejdlehlší informace přišla západně od Liberce, na jihu z okolí Strakonice a Příbrami, zemětřesení bylo pocíťováno i v okolí Prahy. Lidé popisovali hlavně pohyby lehčího nábytku a menších předmětů, drnění a řinčení oken, chvění či houpání. Tyto projevy byly často doprovázeny zvuko-

Krátká forma makroseismické stupnice EMS-98, 12 stupňů.

intenzita	definice	zkrácený popis typických účinků
1	nepocítěné	nepocítěné
2	zřídka pocítěné	Zemětřesení cítí jen jednotlivci na některých místech v domech.
3	slabé	Zemětřesení cítí někteří lidé (0–20 %) uvnitř budov nanejvýš jako houpání nebo lehké chvění.
4	značně pozorované	Zemětřesení uvnitř budov cítí mnozí lidé (10–60 %), venku jen výjimečně. Někteří lidé jsou probuzeni. Okna a dveře rachotí.
5	silné	Zemětřesení uvnitř budov cítí většina lidí (50–100 %), venku jen někteří. Mnozí spící lidé se probudí. Někteří jsou vystrašení. Budovy vibrují. Visící objekty se značně houpají. Malé předměty se posouvají. Dveře a okna se otvírají a zavírají.
6	mírně ničivé	Mnozí lidé jsou vystrašení a vyběhají ven. Některé předměty padají. Mnohé budovy utrpí malé nestrukturální škody, jako např. vlásečnicové trhliny nebo opadané malé kousky omítky.
7	ničivé	Většina lidí je vystrašena a vybíhá ven. Nábytek se posouvá. Předměty padají z polic ve velkém množství. Mnohé dobře postavené budovy utrpí střední škody: opadá omítka, padají části komínů; ve stěnách starších budov jsou velké trhliny a přčky jsou zřícené.
8	těžce ničivé	Mnozí lidé mají problémy udržet rovnováhu. Mnohé domy mají velké trhliny ve stěnách. Několik dobře postavených budov má vážně poškozené stěny. Starší, slabě založené budovy se mohou zříti.
9	destruktivní	Všeobecná panika. Mnoho špatně založených budov se řítí. I dobře postavené budovy utrpí velmi těžké škody: těžké poškození stěn a částečné i strukturní škody.
10	velmi destruktivní	Mnohé dobře postavené budovy se řítí.
11	devastující	Většina dobře postavených budov se řítí. I některé antiseismicky postavené budovy jsou zničeny.
12	úplně devastující	Téměř všechny budovy jsou zničeny.

2. Makroseismická intenzita podle stupnice EMS-98 a její rozložení v České republice z dotazníků shromážděných v Geofyzikálním ústavu AV ČR po zemětřesení s magnitudem 4,5 ze dne 31. května 2014, epicentrum vyznačeno zeleným křížkem.



K DALŠÍMU ČTENÍ

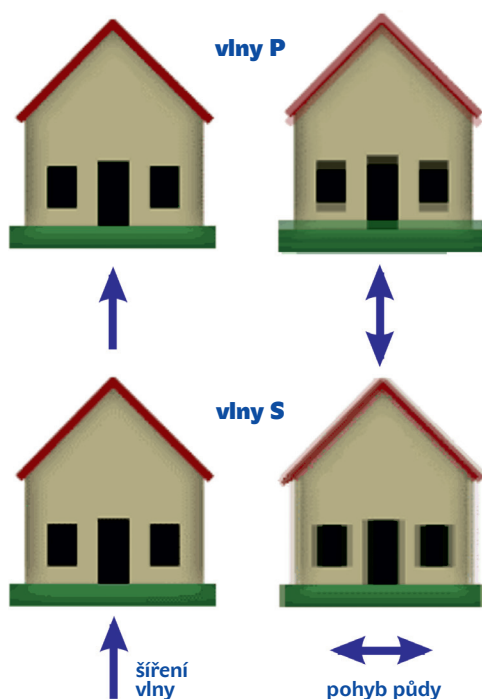
Grünthal G. ed.:
European
Macroseismic
Scale 1998 (EMS-
98), *Cahiers du
Centre Européen
de Géodynamique
et de Séismologie
15, Helfent-Betrang
(Luxembourg), 1998.*

vými efekty, které byly popisovány jako dunění či zvuk projíždějících těžkotonážních vozidel. Menší část obyvatel, zejména v okolí Kraslic, Stříbrné, Šindelové, Bublavy či Sokolova, zaznamenala trhliny ve zdi nebo v omítce, v několika případech i poškození komínů. Makroseismická intenzita zemětřesení tak dosáhla v těchto místech stupně šest, což je srovnatelné se situací na přelomu roků 1985/1986.

Celkový počet došlých dotazníků však představuje jen asi jednu třetinu ve srovnání s rokem 2008, kdy na zemětřesení s menším magnitudem 3,8 zareagovalo až osm set respondentů. Celkově malý počet zaslaných

dotazníků odráží i fakt, že osídlení v západočeské oblasti není rovnoměrné. Přesto by při větším počtu vyplněných a vyhodnocených dotazníků mohlo být plošné rozložení získané makroseismické informace přesnější. Získali by tím i místní občané a sporných případů při jednání s pojišťovnami by mohlo být méně.

A jak je to s rozložením makroseismické intenzity? Proč jsou účinky zemětřesení na různých místech různé? Makroseismická intenzita klesá se vzdáleností, nejsilnější bývá v blízkosti epicentra zemětřesení. To ale nemusí platit vždy. Intenzita totiž odráží specifické podmínky místa pozorování a závisí nejen na tom, jak daleko od epicentra jsme, ale i jakými horninami se k nám seismické vlny od zemětřesení šíří, v jakém směru od zlozu se nacházíme, či jaký pohyb na zlomu nastal. Ani to ale nemusí v krajních případech platit beze zbytku; vlny o největší amplitudě se nemusí šířit od ohniska přímo nahoru k epicentru, stejně jako intenzita nemusí klesat rovnoměrně, protože některým směrem se vlny mohou šířit „snadněji“ než směrem jiným. To je případ i západočeských zemětřesení, kdy epicentrum bylo v oblasti kolem Nového Kostela, ale poškození domů zaznamenaly hlavně Kraslice, Stříbrná, Habartov či Sokolov. To jsou místa, kde na povrch přicházejí výrazné příčné vlny S, které způsobí horizontální rozkmitání budov. Na tyto otřesy jsou budovy velmi citlivé, mnohem citlivější než na vertikální otřesy způsobené vlnami podélnými (vlny P), a proto jsou i škody na budovách větší. Západočeská zemětřesení tedy poskytují možnost pochopit mechanismy šíření seismických vln, případně vysledovat pokračování zlomů k povrchu. Tím je možné, i přes řidší pozorování, poskytnout cenné informace o prostředí a procesech vzniku otřesů.



3. Odezva prostředí a staveb na kolmo dopadající podélnou vlnu P a příčnou vlnu S.