

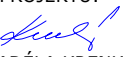


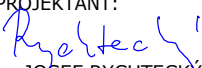
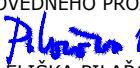
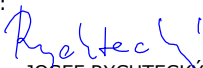


SÚRADNICOVÝ SYSTÉM S-JTSK, VÝŠKOVÝ SYSTÉM Bpv

OBJEDNÁVATEĽ:		ZHOTOVITEĽ:		
 <b>NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ</b>		 <b>AFRY</b>		
NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ, a.s.  DÚBRAVSKÁ CESTA 14, 841 04 BRATISLAVA		AFRY CZ s.r.o.  MAGISTRŮ 1275/13 140 00 PRAHA 4 tel.: +420 277 005 500 www.afry.cz		
ČÍSLO OBJEDNÁVATEĽA: ZM/2021/0386				
HLAVNÝ INŽINIER PROJEKTU:  Ing. ADÉLA KRENKOVÁ	ZÁSTUPCA HLAVNÉHO INŽINIERA PROJEKTU:  Ing. PROKOP NEDBAL	VYPRACOVAL: Bc. VOJTĚCH POSPÍCHAL  Ing. ELIŠKA PILAŘOVÁ		
ZODPOVEDNÝ PROJEKTANT:  Ing. JOSEF RYCHTECKÝ	ZÁSTUPCA ZODPOVEDNÉHO PROJEKTANTA:  Ing. ELIŠKA PILAŘOVÁ	KONTROLOVAL:  Ing. JOSEF RYCHTECKÝ		
NÁZOV PROJEKTU:  <b>DIAĽNICA D3 ŽILINA (BRODNO) - ČADCA</b>				
ETAPA:	I. ETAPA			
ČASŤ:	PODKLADY A PRIESKUMY			
PRÍLOHA:	SEIZMICKÝ PRIESKUM			
KRAJ:	ŽILINSKÝ KRAJ	ČASŤ:	PRÍLOHA Č.:	ČÍSLO PARÉ:
DÁTUM:	01/2023	<b>C.1</b>	<b>7</b>	
STUPEŇ:	ŠTÚDIA REALIZOVATEĽNOSTI			
MIERKA:	-			
Č. ZAKÁZKY:	2021/0197			



Zhotoviteľ:  
AFRY CZ s.r.o.  
Magistrů 1275/13  
140 00 Praha 4

Dátum:  
01/2023

Zastúpený:  
Ing. Petr Košan, konateľ  
Mgr. Gergely Nagy, konateľ  
Ing. Ivo Šimek, CSc., konateľ  
Michal Kovářík, konateľ  
Ing. Petr Šlemr, konateľ

Číslo zákazky:  
2021/0197

Kontrola:  
Ing. Josef Rychtecký  
Riešiteľ - vypracoval:  
Bc. Vojtěch Pospíchal  
Ing. Eliška Pilařová

Objednávateľ:  
Národná diaľničná spoločnosť, a.s  
Dúbravská cesta 14,  
841 04 Bratislava

## VYPRACOVANIE ŠTÚDIE REALIZOVATEĽNOSTI PRE STAVBU DIAĽNICE D3 ŽILINA (BRODNO) - ČADCA

### I. ETAPA: ŽILINA (BRODNO) - KYSUCKÉ NOVÉ MESTO



## Obsah

1 Identifikačné údaje .....	4
1.1 Stavba .....	4
1.2 Základné údaje o navrhovateľovi .....	5
1.3 Základné údaje o spracovateľovi .....	5
2 Úvod .....	7
2.1 Základní informácie .....	7
3 Metodika prieskumu IG .....	7
4 Geologická stavba okolia a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia .....	7
5 Tektonická stavba a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia .....	13
6 Morfológia terénu a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia .....	15
7 Sekundárne efekty zemetrasení .....	17
8 Makroseizmické účinky zemetrasení .....	17
9 Seizmické ohrozenie .....	19
10 Súčasná seizmická aktivita na študovanom území .....	21
11 Záver .....	23
12 Literatúra .....	24

## Zoznam obrázkov a tabuliek:

Obrázok 1 - Prehľadná situácie I. etapy

Obrázok 2 - Geologická stavba posudzovaného územia

Obrázok 3 - Neotektonická stavba študovaného územia

Obrázok 4 - Neotektonická stavba študovaného územia (Maglay et al., 2006, upravené)

Obrázok 5 - Sklon svahov študovaného územia v stupňoch

Obrázok 6 - Mapa zosuvov

Obrázok 7 - Mapa seizmického ohrozenia

Obrázok 8 - Seizmické ohrozenie v hodnotách referenčného špičkového seizmického zrýchlenia na skalnom podloží (EN 1998-1/NA/Z2)

Obrázok 9 - Mapa epicentier zemetrasení s makroseizmickými účinkami

Tabuľka 1 - MSK-64 a jej porovnanie s Richterovou stupnicou

Tabuľka 2 - Krátka forma stupnice EMS-98

Tabuľka 3 - Referenčné špičkové seizmické zrýchlenie a seizmické ohrozenie



## 1 Identifikačné údaje

### 1.1 Stavba

Názov:	Diaľnica D3 Žilina (Brodno) - Čadca
	I. Etapa: Žilina (Brodno) - Kysucké Nové Mesto
Charakter činnosti:	Novostavba
Miesto - kraj:	VÚC: Žilinský
Okres:	Žilina, Kysucké Nové Mesto, Čadca
Zoznam dotknutých obcí :	Žilina, Budatín, Považský Chlmec, Vranie, Brodno, Rudinka, Oškerda, Kysucké Nové Mesto, Radoľa, Budatínska Lehota, Povina, Kysucký Lieskovec, Ochodnica, Dunajov, Krásno nad Kysucou, Oščadnica, Horelica, Čadca
Zoznam dotknutých KÚ:	Žilina (874604), Budatín (874825), Považský Chlmec (849031), Brodno (806951), Vranie (870307), Rudinka (853305), Kysucké Nové Mesto (830283), Radoľa (850977), Budatínska Lehota (807117), Povina (849057), Kysucký Lieskovec (830381), Ochodnica (843229), Dunajov (813630), Krásno nad Kysucou (828483), Oščadnica (844748), Horelica (808512), Čadca (808393)
Plánované termíny začatia a ukončenia činnosti:	05/2026 - 05/2029
Špecifikácia činnosti:	Diaľnica D 24,5/80 Cesty I. triedy C 9,5/60; C 11,5/60 Cesty III. triedy MO 8/40; C9,5/60 Miestné a poľné cesty
Zdôvodnenie stavby:	Stavba prevádza dopravné vzťahy v území medzi Žilinou (Brodno) a Kysuckým Novým Mestom, potvrdenie koridoru (technicky už navrhnutého) z ekonomického a environmentálneho hľadiska novej stavby diaľnice D3

## 1.2 Základné údaje o navrhovateľovi

Názov: Národná diaľničná spoločnosť, a.s. Bratislava

IČO: 35 919 001

DIČ: 2021937775

Adresa: Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava

Štatutárny orgán, predstavenstvo zastúpené:

Ing. Vladimír Jacko, PhD., MBA, predseda predstavenstva  
a generálny riaditeľ

Mgr. Jaroslav Ivanco, podpredseda predstavenstva

Kontaktná osoba:

vo veciach zmluvných: Mgr. Radoslav Krajči, vedúci odboru právneho

vo veciach technických: Ing. Tomáš Polák, vedúci odboru prípravy D/RC

Ing. Stanislava Hajdony, vedúca oddelenia prípravy  
technických štúdií

Ing. Martina Juhásová, špecialista investičnej prípravy

Ing. Mária Macháčová, špecialista geodet

Bc. Anna Dzianiková, vedúca odd. geodetických činností

RNDr. Marek Laho, vedúci oddelenia geológie a  
geotechniky

Mgr. Ivan Gabauer, vedúci odboru environmentálnych  
činností

každý samostatne v rozsahu svojich právomocí

vo veciach cenových: Ing. Karolína Bálintová, vedúca odboru cien a finančného  
kontrolingu stavieb

## 1.3 Základné údaje o spracovateľovi

Názov: AFRY CZ s.r.o.

Sídlo: Magistrů 1275/13, 140 00 Praha 4

Právna forma: spoločnosť s ručením obmedzeným

Štatutárny orgán: Ing. Petr Košan, konateľ

Mgr. Gergely Nagy, konateľ

Ing. Ivo Šimek, CSc., konateľ

Michal Kovářik, konateľ

Ing. Petr Šlemr, konateľ

IČO: 45306605

DIČ: CZ45306605



**Hlavný inžinier projektu:** Ing. Adéla Krenková

**Zodpovedný projektant:** Ing. Josef Rychtecký

**Vyhotovili:** Bc. Vojtěch Pospíchal  
Ing. Eliška Pilařová

## 2 Úvod

Bola vypracovaná záverečná správa „Seizmický prieskum“, ako súčasť projektovej dokumentácie na stavbu: "D3 Žilina - Čadca" etapa -štúdia realizovateľnosti. Správa pozostáva z hodnotenia geologickej, tektonickej a seizmotektonickej stavby územia. Súčasťou sú zistenia týkajúce sa seizmoaktívnych zón a ich makroseizmické prejavy, maximálne očakávané seizmické účinky, hodnotenie seizmického ohrozenia a seizmického rizika, vplyv rizikových podpovrchových nehomogenít na zmeny geotechnických vlastností štruktúr, predpokladané vplyvy stavby na stabilitu horninových prostredí v podloží, návrh opatrení a prevencii a možnosti eliminácie seizmického rizika.

### 2.1 Základní informácie

I. ETAPA: D3 ŽILINA (BRODNO) - KYSUCKÉ NOVÉ MĚSTO. Napojenie na existujúci úsek diaľnice D3, Žilina (Brodno) - Kysucké Nové Mesto (11km - 22,225 km, Dĺžka I. etapy = 11,125 km), Etapa I = Úsek 1.

## 3 Metodika prieskumu IG

Táto dokumentácia seizmického prieskumu je tvorená na základe mapových, archívnych podkladov a informácii dostupných z literárnych zdrojov, čiastkových a záverečných prác realizovaných v blízkosti študovaného územia.

## 4 Geologická stavba okolia a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia

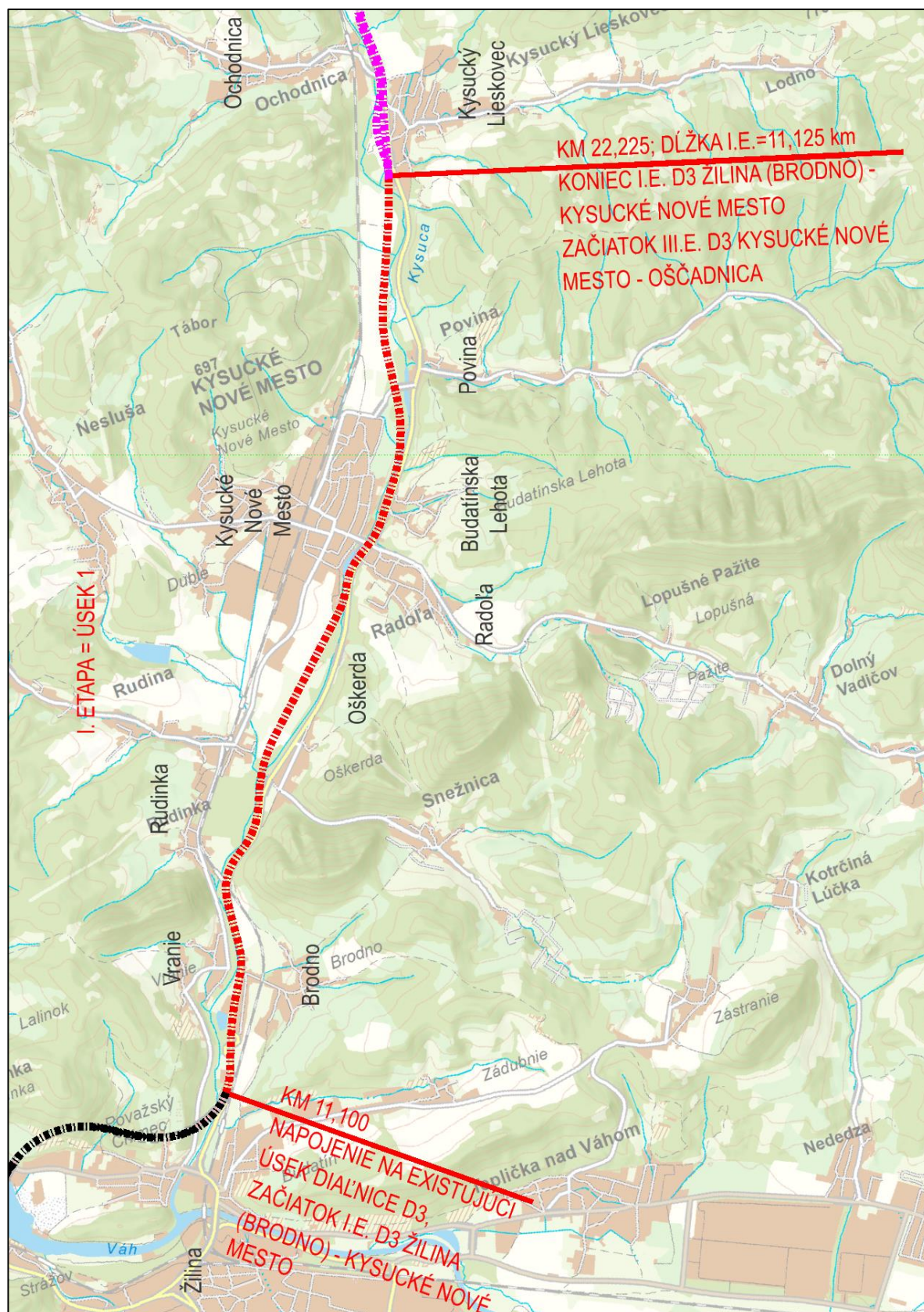
Podľa geomorfologického začlenenia (Mazúr a Lukniš, 1986) patrí do: Alpsko-Himalájskej sústavy, podsústavy Karpaty, provincie Západné Karpaty, subprovincie Vonkajšie Západné Karpaty, oblasť Slovensko-moravské Karpaty celku Javorníky, oddielu Nízke Javorníky. Z hľadiska inžinierskogeologickej rajonizácie patrí študované územie do rajónu kvartérnych hornín do rajónu údolných riečnych náplavov, deluviálnych sedimentov a rajón náplavov terasových stupňov.

Z hľadiska geodynamických javov študované územie patrí do oblasti s vysokým potenciálom zosúvanie.

### **Geologická stavba**

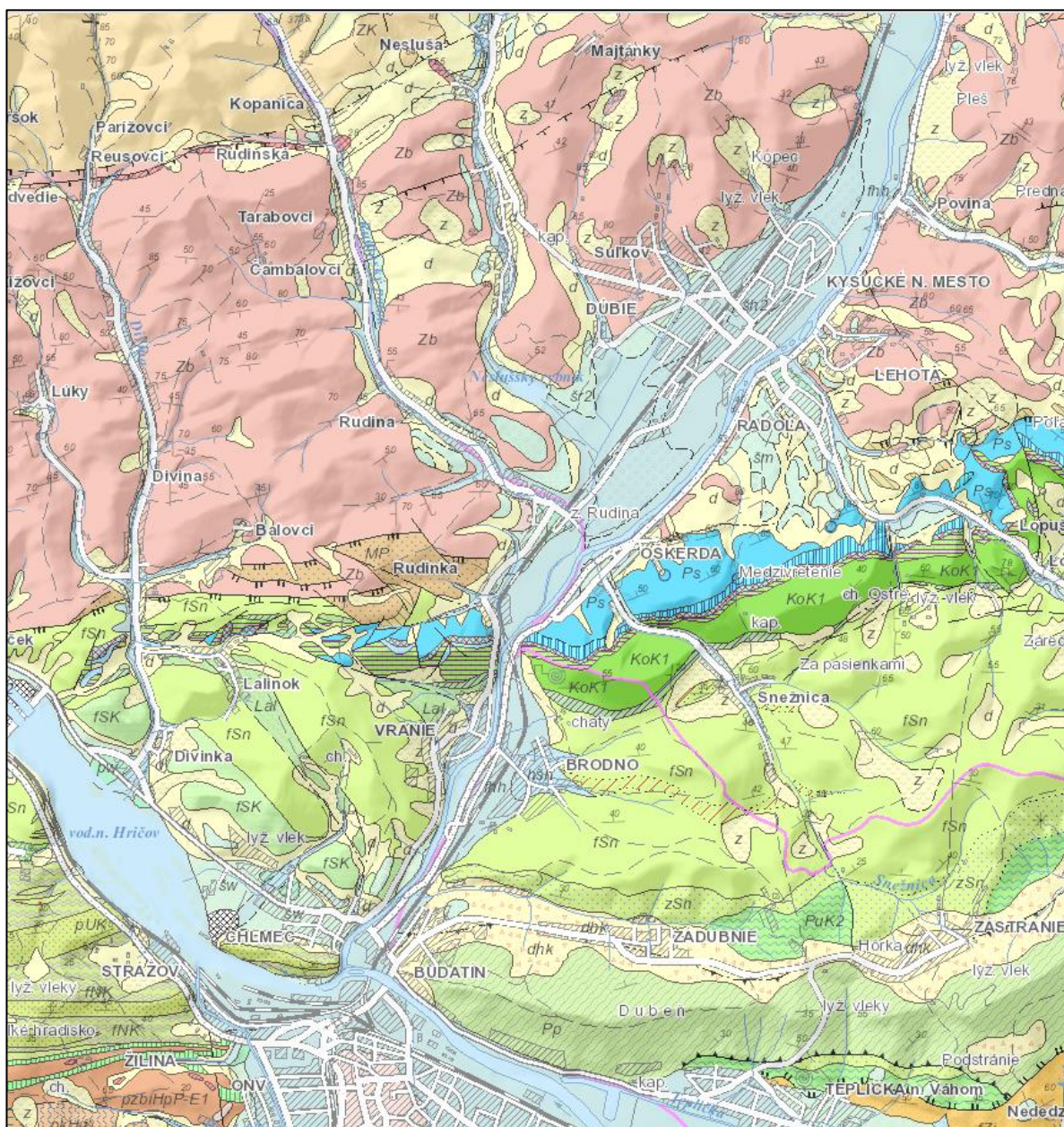
Z hľadiska regionálneho geologického členenia Západných Karpát patrí južná časť riešenej trasy diaľničného úseku do varínskeho úseku bradlového pásma a pribradlovej oblasti, severná časť do západobystrického flyšu, zóny magurského flyšu. Trasa diaľnice prechádza prevažne vo fluviálnych sedimentoch rieky Kysuce, ktoré sú zastúpené štrkovitými zeminami, lokálne hlinitými pieskami. Podložie fluviálnych sedimentov je v južnej, teda počiatočnej časti, budované kriedovými zlepenkami a ďalej sivými slieňami a pieskovecami kysuckej série bradlového pásma.

Obrázok 1 - Prehľadná situácia I. etapy  
 (Zdroj mapového podkladu: ZBGIS <https://zbgis.skgeodesy.sk>)





Obrázok 2 - Geologická stavba posudzovaného územia  
 (Geologická mapa Slovenska M 1:50 000, <http://apl.geology.sk/gm50js>)




Mierka mapy 1 : 50 000

*Legenda geologické mapy*
**Všeobecné vysvetlivky**


- zlomy predpokladané
- - geologické hranice predpokladané
- zlomy zistené
- └─ násunové línie alebo prešmyky (nerozlíšené) predpokladané
- └─ štátna hranica
- └─ násunové línie alebo prešmyky (nerozlíšené) zistené
- └─ násunové línie alebo prešmyky (nerozlíšené) zakryté
- zlomy zakryté
- └─ zlomy a prešmyky s bočným posunom zakryté
- └─ zlomy a prešmyky s bočným posunom zistené
- ... geologické hranice: pozvoľné prechody, alebo faciálne zmeny (prechody)
- └─ zlomy a prešmyky s bočným posunom predpokladané

**FLYŠOVÉ PÁSMO**


## Zlínske súvrstvie

 Zb; bystrické vrstvy: vápnité glaukonitické pieskovce, drobové pieskovce, arkózové pieskovce, slieň


## Zábavné súvrstvie

 ipMr; malcovské a raciborské súvrstvie: vápnité ílovce, jemnozrnné pieskovce, drobové pieskovce


## Magurské súvrstvie

 MP; pieskovcový flyš: stredno- až hrubozrnné drobové pieskovce s muskovitom, menej ílovce

## Belovežské súvrstvie

 BeB; belovežské súvrstvie - bystrická fácia: pestré ílovce a jemnozrnné pieskovce


## Zlínske súvrstvie

 fVy; vychylovské súvrstvie: pieskovce, ílovce, vložky bystrických ílovcov (tenkovrstvený flyš)


**MEZOZOIKUM**

## KRIEDA

## Mladšia jura - staršia krieda

 OsJK1; kalpionelové vápence: svetlosivé, plet'ovoružové slienité vápence (niekedy s rohovcami) a sivé slienité bridlice


## Staršia krieda

 LuK1; lučivnianske súvrstvie: tmavosivé škvrnité slaboslienité vápence s rohovcami




*Legenda geologické mapy*
**KVARTÉR**


## Holocén vcelku

-  fh; fluvialné sedimenty: litofaciálne nečlenené nivné hliny, alebo piesčité až štrkovité hliny dolinných nív a nív horských potokov


## Mladší pleistocén

-  šw; fluvialné sedimenty: štrky, piesčité štrky a piesky dnovej akumulácie v nízkych terasách


## Stredný pleistocén (staršia časť)


-  šm; fluvialné sedimenty: štrky, piesčité štrky a reziduálne štrky nerozlíšených akumulácií mladších terás


## Mladší pleistocén - holocén

-  phš; proluviálne sedimenty: hliny, piesčité hliny a hlinité štrky s úlomkami vo vyšších nivných náplavových kuželloch


## Pleistocén / holocén

-  pgh; deluviálno-polygenetické sedimenty: hlinito-ílovité a piesčité svahové hliny


-  d; deluviálne sedimenty vcelku: litofaciálne nerozlíšené svahoviny a sutiny


-  z; zosuvy


## Holocén vcelku

-  hšh; proluviálne sedimenty: prevažne hliny a piesčité hliny s úlomkami hornín a zahlinenými štrkami v nivných náplavových kuželloch


## Stredný pleistocén (mladšia časť)


-  šhr2; fluvialné sedimenty: piesčité štrky a štrky nižších stredných terás s pokryvom spraší a nerozlíšených deluviálnych hlin a splachov

-  šr1; fluvialné sedimenty: piesčité štrky a štrky vyšších stredných terás


-  šhr1; fluvialné sedimenty: štrky a piesčité štrky vyšších stredných terás s pokryvom spraší, deluviálnych hlin a splachov


## Pleistocén / holocén

-  dk; deluviálne sedimenty: piesčito-kamenité a balvanovité blokoviská (sutinové kužele, prúdy, skalné zrútenia, kamenné moria, osypy)


-  dhk; deluviálne sedimenty: prevažne hlinito-kamenité (podradne piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny

## Mladší pleistocén


-  pšw; fluvialné sedimenty: prevažne hliny, piesky a piesčité štrky dnových akumulácií v nivách

-  pw; proluviálne sedimenty: hlinité a piesčité štrky s úlomkami hornín v nízkych náplavových kuželloch


## Stredný pleistocén (mladšia časť)

-  šr2; fluvialné sedimenty: piesčité štrky a štrky nižších stredných terás

## Starší pleistocén

-  šg; fluvialné sedimenty: štrky a reziduálne štrky nerozlíšených akumulácií 3. a 2. vysokej terasy








## Mladší pleistocén - holocén

-  dp; deluviálno-proluviálne sedimenty: hlinité, až hlinito-kamenité dejekčné kužele, lokálne s obsahom štrkov a pieskov



*Legenda geologickej mapy*
**BRADLOVÉ PÁSMO**

## BRADLOVÉ PÁSMO



## Snežnické vrstvy

-  fSn; kremenno-karbonátové jemno- až strednozrné pieskovce, zelenosivé ílovce (flyš)
-  Tis; tisalské vrstvy: sivé a zelené škvrnité slieňovce a vápence, piesčité vápence, tmavosivé slienité bridlice
-  Lal; lalinocké vrstvy: zelené, sivé a fialovočervené slieňovce a piesčité vápence
-  Np; nadposidóniové vrstvy: škvrnité kremité vápence a tmavosivé kremité bridlice, slieňovce, vzácne pieskovce
-  rv; červené a zelené rádiolarity, rádiolárové alebo silicifikované vápence, ojedinele aj hľuznaté vápence
-  KoK1; koňhorské vrstvy: čierne bridličnaté slieňovce a škvrnité slienité vápence
-  čhv; čorštynské vápence: červené hľuznaté vápence


## Posidóniové vrstvy

-  kvPs; horizonty krinoidových vápencov
-  Ps; škvrnité kremité vápence a bridlice, tmavosivé piesčité bridlice, pieskovce






## Pupovské vrstvy

-  Pp; pieskovce, ílovce, siltové slieňovce (flyš)
-  Zpp; polymiktné, "exotické" zlepenice

## Snežnické vrstvy


-  zSn; horizonty zlepenic

**KLAPSKÁ SKUPINA**

-  fSK; pieskovce a bridlice s polohami exotických zlepenic - flyš (?sromowské súvrstvie)
-  fNK; nimnické súvrstvie: flyš s prevahou slieňov
-  pUK; uhrovske súvrstvie: flyš s prevahou pieskovcov, miestami len pieskovce
-  zUK; upohlavské súvrstvie: zlepenice s exotickými obliakmi, pieskovce, ojedinele ílovce
-  pPbK; považskobystrické súvrstvie: pieskovce a piesčité slieňovce, ojedinele piesčité

**MANÍNSKA SKUPINA**

## Praznovské súvrstvie

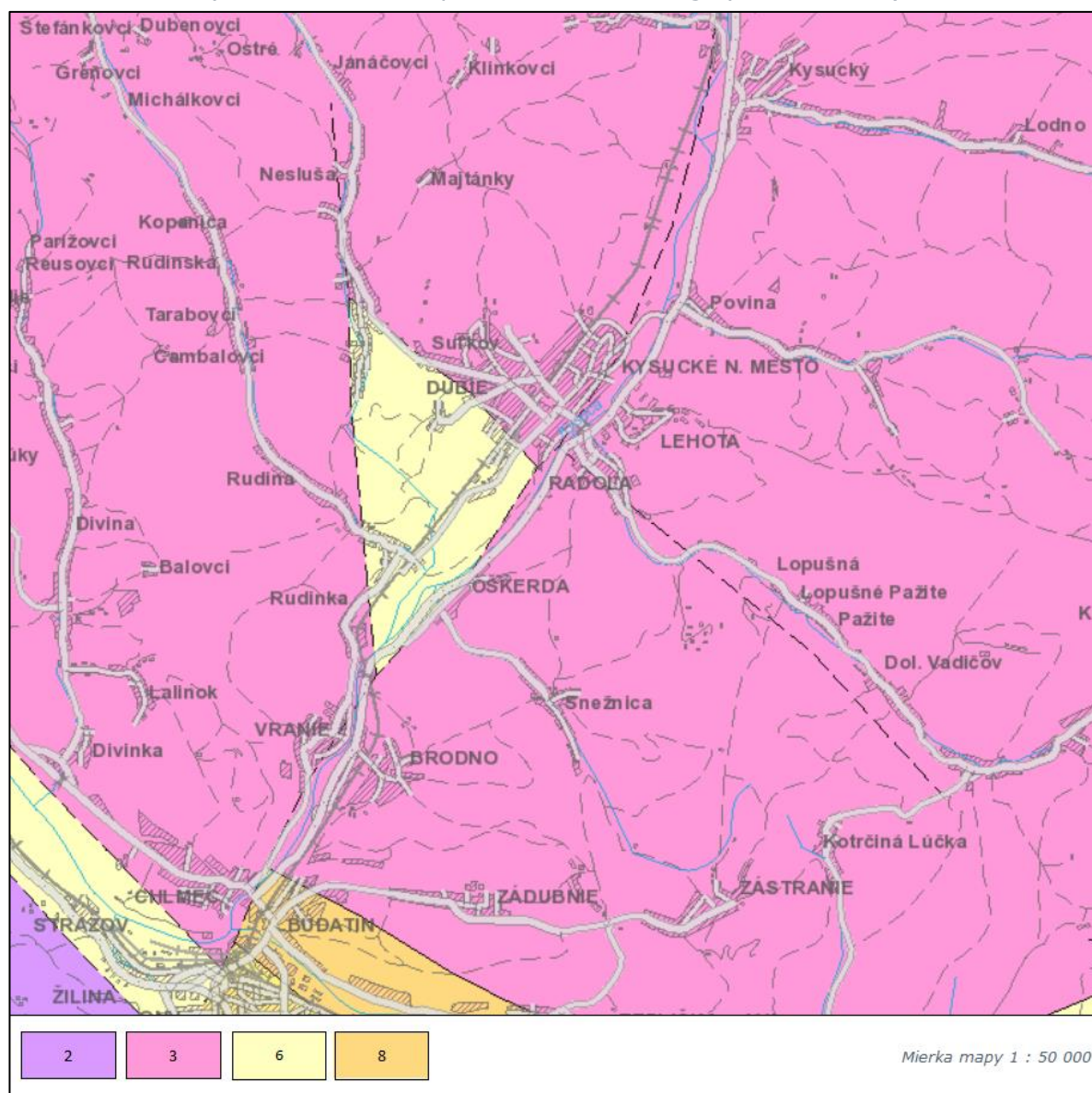
-  vPz; tmavosivé slienité vápence

## 5 Tektonická stavba a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia

Seizmický pohyb pôdy na danom mieste zemského povrchu počas zemetrasenia závisí od troch faktorov - seizmického ohniska (t.j. smeru a veľkosti posunutia na porušenej časti zlomovej plochy, veľkosti tejto porušenej časti, orientácie zlomovej plochy a polohy vzhľadom k miestu), prostredia medzi ohniskom a lokálnou geologickou štruktúrou a samotnej lokálnej geologickej či topografickej štruktúry a jej pozície v teréne.

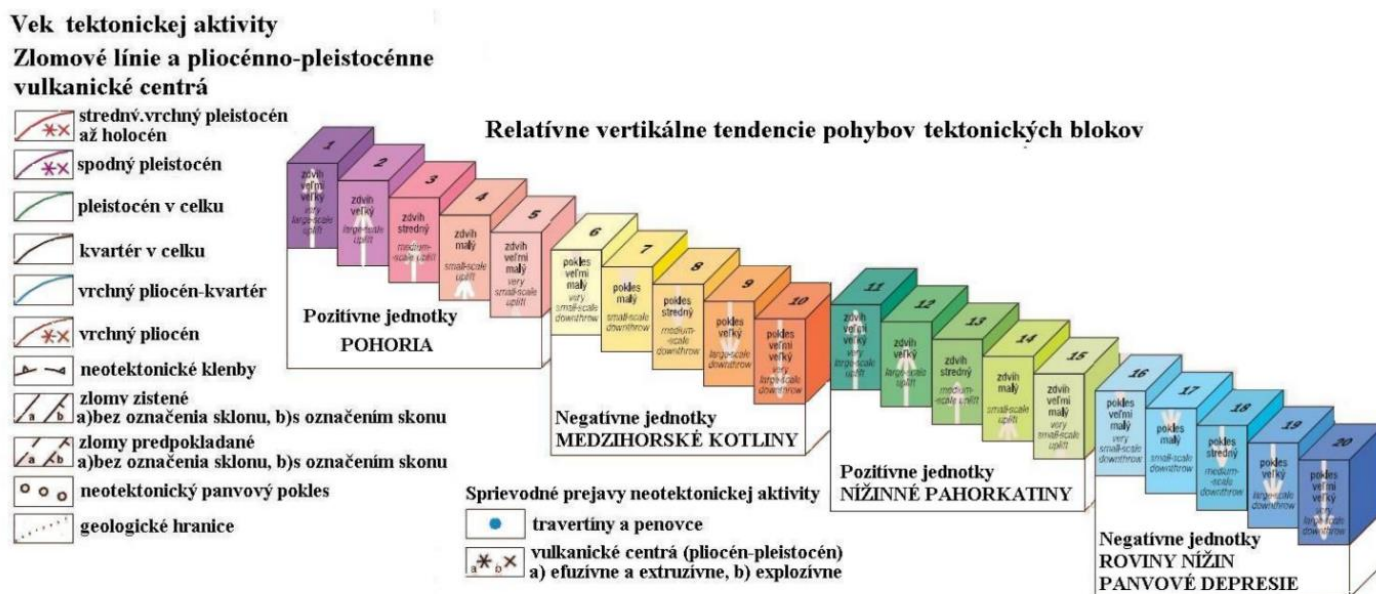
Študovaný región sa nachádza s pohľadu neogénnej stavby prevažne v pozitívne jednotke (pohorie, strední zdvih) a menšie negatívne jednotke (medzihorské kotliny, veľmi malý pokles). V študovanom území prebiehajú aj aktívne zlomové štruktúry. Priebeh samotnej kotliny kopíruje priebeh uvedených tektonických línií.

*Obrázok 3 - Neotektonická stavba študovaného územia  
(Neotektonická mapa Slovenska, J. Maglay et al., 1999)*





Obrázok 4 - Neotektonická stavba študovaného územia  
(Maglay et al., 2006, upravené)



Poruchové pásma - zlomové línie sú z hľadiska seizmickosti najcitlivejšími oblasťami a do značnej miery vplývajú na intenzitu zemetrasenia danej oblasti. Blízkosť aktívneho zlomu spôsobuje vzrast intenzity zemetrasenia o 1 až 2°. V blízkosti zlomu je spravidla určujúcim faktorom proces šírenia trhliny na zlomovej ploche. Z uvedených dôvodov je potrebné v súlade s pokynmi technickej normy, individuálne posúdiť možnosť výstavby v blízkosti zlomových porúch na základe posúdenia geológa.

Na intenzitu zemetrasenia vplývajú aj reologické vlastnosti hornín a zároveň aj ich úložné pomery. Najodolnejšie reagujú na otrasy masívne skalné nezvetrané horniny. Oveľa nepriaznivejšie sú základové pôdy z nespevnených súdržných a nesúdržných hornín. Pružné deformácie v podobe seizmických vln vplývajú na každú časť súvrstvia. Nepriaznivé vlastnosti sú ešte výraznejšie pri nasýtení horniny vodou. Z hľadiska seizmicity sú veľmi dôležité úložné pomery hornín, ktoré vytvárajú priaznivé alebo nepriaznivé podmienky na vznik svahových pohybov, vyvolaných otrasmi pri zemetrasení. Porušenie stability územia, vznik zosuvov a skalných zrútení je najčastejším sprievodným znakom zemetrasení.

Hydrogeologické pomery sú podmienené geologickou stavbou. Voda zvyšuje negatívne účinky zemetrasenia na horniny a preto je dôležité zistenie výšky hladiny podzemnej vody a zvodnenie hornín. Ak je hladina podzemnej vody v trvalej hĺbke menšej ako 1 m pod základovou škálou je nevyhnutné individuálne posúdenie. Osobitnú pozornosť treba venovať územiám, v ktorých sa vyskytujú zvodnené zeminy s vyšším obsahom piesčitej a prachovej zložky, ktorým hrozí stekutenie (Čabalová et al., 2009).

## 6 Morfológia terénu a jej vplyv na intenzitu zemetrasenia

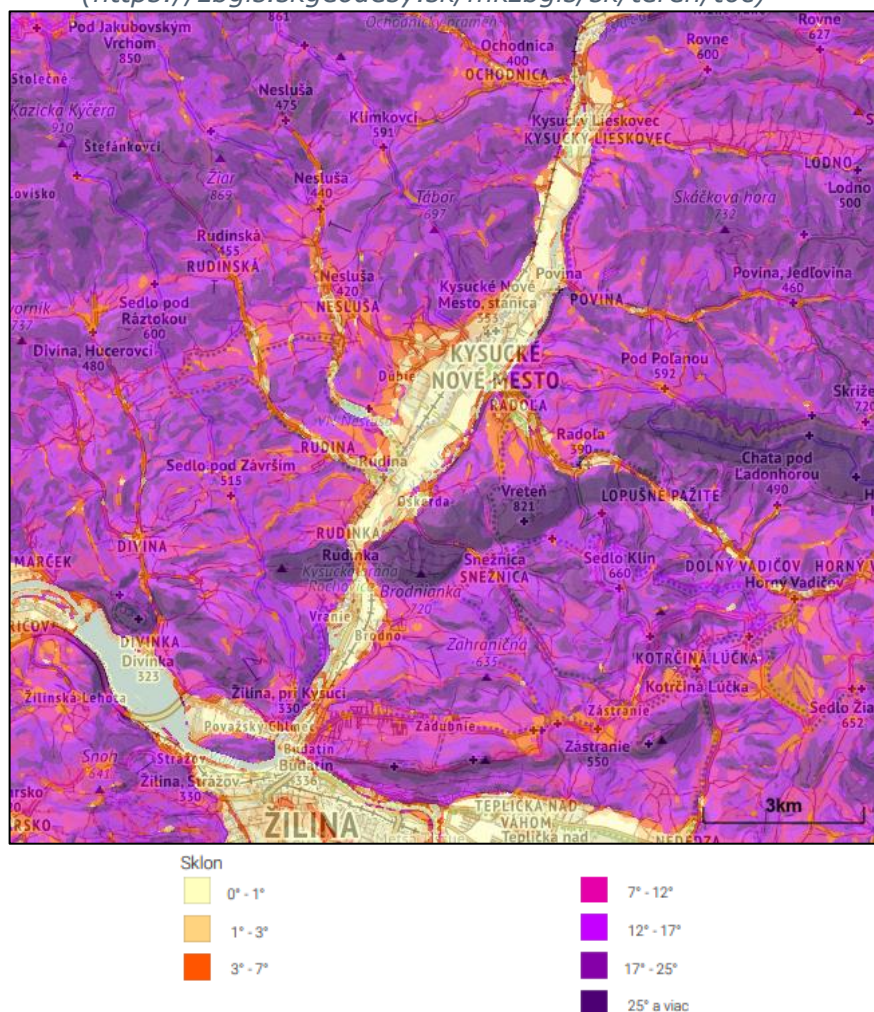
Morfologické tvary povrchu zeme sú dôležitým faktorom ovplyvňujúcim intenzitu zemetrasenia. Dôkladne treba skúmať územia, v ktorých zemetrasenie môže vyvolať alebo obnoviť svahové pohyby, ohrozujúce stavby v blízkosti strmých alebo vysokých svahov, kde je predpoklad vzniku zosuvov alebo skalných zrútení.

Vplyv lokálnych geologických podmienok a topografie voľného povrchu môže byť niekedy veľmi silný. Môže dôjsť k tzv. lokálnemu efektu, t.j. k anomálii seizmického pohybu - amplitúdy v časovej i frekvenčnej oblasti a trvanie pohybu sú v rozpore s vyžarovacou charakteristikou ohniska a vzdialenosťou miesta od ohniska.

Anomálny seizmický pohyb spravidla spôsobuje na osídlenom, či zastavanom území anomálne škody na budovách a objektoch, t.j. anomálie v tzv. makroseizmickom poli. K lokálnym efektom, ktoré spravidla spôsobujú najväčšie škody, dochádza v súčasnosti takmer pri každom dostatočne silnom zemetrasení, ktoré zasiahne obývané územie.

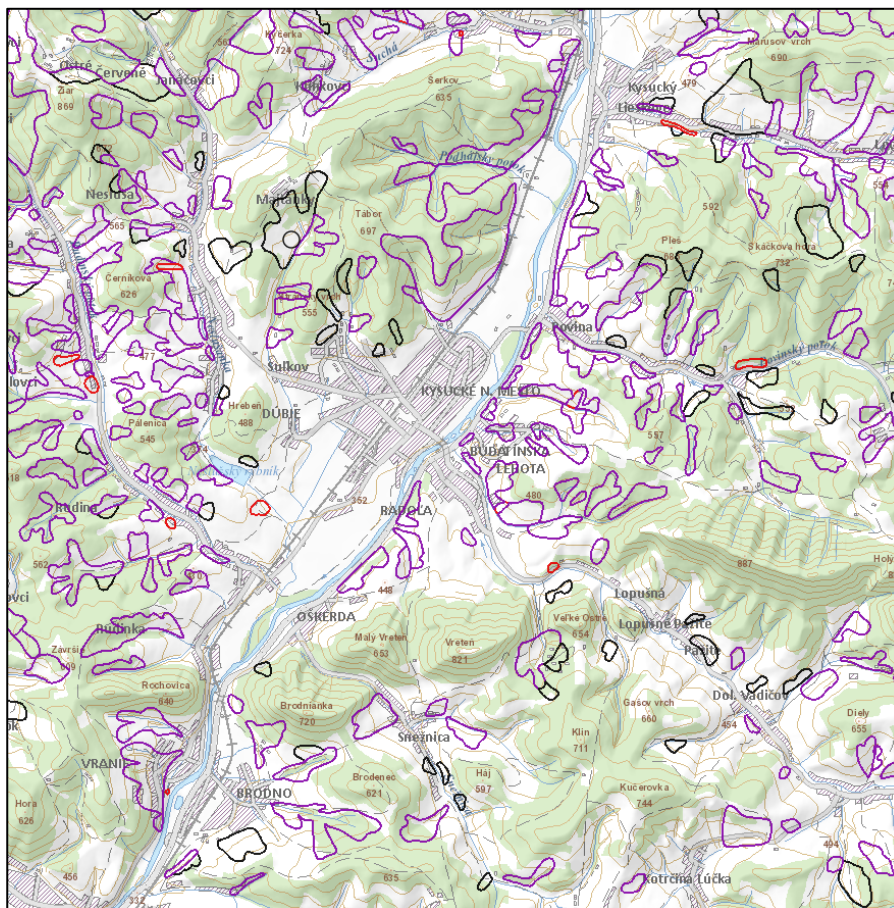
Na študovanom území je sklonitosť terénu veľmi nerovnomerná. Pri uvedených sklonoch je nutné počítať s vysokým rizikom vzniku zosuvov, pri zarezávaní sa do svahov, pri zvýšení saturácie zemín a hornín, ale aj pri malých intenzitách zemetrasenia (teoretická a predpokladaná hranica sklonu pre vznik zosuvu je hodnota  $2,5^\circ$ ). Svahy študovaného územia dosahujú vysokých sklonov svahu (viz Obr. 5).

Obrázok 5 - Sklon svahov študovaného územia v stupňoch  
 (<https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/teren/toc>)



Z pohľadu doteraz evidovaných svahových deformácií je študované území veľmi náchylné na svahové pohyby (viz Obr. 6).

Obrázok 6 - Mapa zosuvov  
 (<http://apl.geology.sk/geofond/zosuvy>)



Mierka mapy 1 : 50 000

Stupeň aktivity zosuvov:		Stabilizovaný
		Potenciálny
		Aktívny



## 7 Sekundárne efekty zemetrasení

K lokálnym efektom zemetrasenia patria aj pohyby pôdy indukované vibračným seizmickým pohybom. Sú to najmä stekutenie vodou nasýtených pieskov, zosuvy pôdy (spôsobené priamo seizmickým pohybom, stekutím tenkej vrstvy pôdy, zosilnením seizmického pohybu v dôsledku špecifickej topografie), padanie skál, bahenný prúd, sutinový prúd, pokles a prepadnutie pôdy. Je zrejmé, že tieto sekundárne efekty zemetrasenia môžu rovnako spôsobiť veľké škody.

V študovanom území sa nachádzajú potenciálny zosuvové území pomerne často, hlavne severne a východne od Kysuckého Nového Mesta a okolí, také v blízkosti mesta Brodno (Obr. 6).

Ich aktivizáciu môžu spôsobiť tieto faktory:

- rast sklonu a výška svahov;
- nerovnomerný postup deštrukcie svahov;
- postupné priťažovanie svahov;
- zvetrávanie hornín na svahu;
- zrážková teplotná anomália;
- seizmické otrasy svahov.

Seizmické otrasy svahov patria medzi epizodické javy, ale z pohľadu stability územia je s nimi potrebné uvažovať.

## 8 Makroseizmické účinky zemetrasení

Účinky zemetrasení na ľudí, objekty, stavby a prírodu v študovanom regióne sa nazývajú makroseizmické účinky. Prejavujú sa, ak je lokálne magnitúdo zemetrasenia **ML > 2.5**. Makroseizmické účinky sú kvantifikované pomocou tzv. makroseizmickej intenzity (**I**). Makroseizmická intenzita je určovaná v stupňoch makroseizmickej stupnice. Intenzita zemetrasenia je miera účinkov zemetrasenia na prírodu, stavebné objekty a ľudí v danej oblasti. Klasifikuje sa pomocou stupníc intenzity.

V súčasnosti sú vo svete používané najmä 12-stupňové stupnice:

- Mercalli-Cancani-Siebergova (MCS),
- Modifikovaná Mercalliho (MM),
- Medvedevova-Sponheuerova-Kárníková (MSK),
- Európska makroseizmická stupnica (EMS-98).

Tabuľka 1 - MSK-64 a jej porovnanie s Richterovou stupnicou  
 (Mercalli Scale vs. Richter Scale, <https://assessments.hpc.tools> > attachments)

Makroseizmická stupnica intenzity zemetrasenia MSK – 64 a jej porovnanie tzv. Richterovou stupnicou				
Stupeň	Označenie	Maximálne zrýchlenie $\text{cm s}^{-2}$	Odhad magnitúda M	Prejavy
I	Nebadaťné	0,25		Zaznamenávajú iba seizmografy.
II	Veľmi slabé	0,25—0,50	2,5	Cítia ho jednotlivci v pokoji, hlavne na vyšších poschodiach.
III	Slabé	0,50—1,0		Citeľné v budovách, slabé kývanie zavesených predmetov.
IV	Mierne	1,0—2,5	3,5	Pozorujú ho mnohí ľudia v budovách a stojaciach autách, zobúdzajú ľudí, okná a dvere vŕzgajú, z múrov počujú praskot.
V	Dosť silné	2,5—5,0		Cítia ho všetci v budovách, mnohí sa budia, zvieratá sú nepokojné, okná praskajú, lustre sa kývajú. Poškodenie stavieb z nepálených tehál.
VI	Silné	5,0—10		Pozorované aj mimo budov, mnohí sú vystrašení, padajú komíny, nábytok sa hýbe. Škody sa objavujú i na budovách z pálených tehál, zosuvy pôdy, niekedy sa mení výška hladiny spodných vôd.
VII	Veľmi silné	10—25	5,5	Väčšina ľudí vybieha z domov, je cíiteľné aj v idúcim aute, veľké zvony sa rozkývajú. Ojedinelé škody aj na železobetónových budovách, na voľnej hladine vody sa tvoria vlny.
VIII	Zhubné borivé	25—50	6	Všeobecné zdesenie, lámu sa konáre stromov, prevrhne sa aj ťažký nábytok. Ľahšie stavby sú zničené, padajú pomníky, poškodené sú aj železobetónové budovy. V pôde sa objavujú niekoľkokentimetrové trhliny, rieky menia korytá.
IX	Pustošivé	50—100	6,5	Vzniká panika, značné škody aj na železobetónových budovách a bytovom zariadení. Praská podzemné potrubie, trhliny okolo 10 cm v pôde. Veľké vlny na vode.
X	Niživé	100—250	7	Značné škody na všetkých budovách, hrádzach, mostoch, koľajnici sa ohýbajú, cesty sú zvinené, v pôde sú trhliny okolo 1 m, voda sa vylieva z riek a jazier.
XI	Katastrofálne	250—500	8	Väčšina budov, mostov a podzemných potrubí je zničená. Rozsiahle zmeny na zemskom povrchu, široké a hlboké trhliny a posuvy pozdĺž nich.
XII	Veľká katastrofa	500—1000	8,5 a viac	Všetky ľudské diela sú úplne zničené. Zrýchlenie prevyšuje tiaž, na povrchu zeme sa vytvárajú voľným okom viditeľné vlny, rúcajú sa veľké skalné bloky, mení sa vzhľad zemského povrchu.

Na Slovensku sa používa stupnica MSK a EMS-98 (tab. 1 a 2). Najnovšia stupnica používaná na Slovensku, EMS-98, bola navrhnutá tak, aby znížila mieru subjektivity v určovaní stupňa intenzity. Hodnoty makroseismickej intenzity pre jednotlivé lokality sú pre každé zemetrasenie prezentované vo forme máp izoseist. Stupnica EMS-98 zahŕňa jednak klasifikáciu budov podľa zraniteľnosti, klasifikáciu škôd a kvantít jednak definície intenzitných stupňov. Budovy sú zaradené do šiestich tried zraniteľnosti A až F, pričom A sú najzraniteľnejšie a F najodolnejšie budovy s vysokou úrovňou antiseizmického dizajnu.

Väčšina budov v historických jadrách miest na Slovensku patrí do triedy A alebo B, moderné budovy spravidla do triedy zraniteľnosti C. Zaradenie budovy do príslušnej triedy závisí od kvality vyhotovenia a údržby, geometrickej pravidelnosti, duktility, polohy, spevnenia, úrovne antiseizmického dizajnu a dôležitosti budovy.

Tabuľka 2 - Krátka forma stupnice EMS-98  
 (European Macroseismic Scale 1998, <https://www.gfz-potsdam.de>)

Intenzita	Definícia	Skrátený popis typických účinkov
1	nepocítené	Nepocítené.
2	zriedkavo pocítené	Pocítené len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vnútri cítia niekoľkí (0-20%). Ľudia nanajvýš cítia hojdanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vo vnútri cítia mnohí (10-60%), vonku len výnimočne. Niekoľkí sú prebudení. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vo vnútri cítia väčšina (50-100%), vonku niekoľkí. Mnohí spiači sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Visiace objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí sú vystrašení a vybiehajú von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštruktúrne škody ako napr. vlásoknicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z polic vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadá omietka, padnú časti kominov; v stenách starších budov sú veľké trhliny a priečky sú zrútené.
8	ťažko ničivé	Mnohí majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody; ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štruktúrne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrúti.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

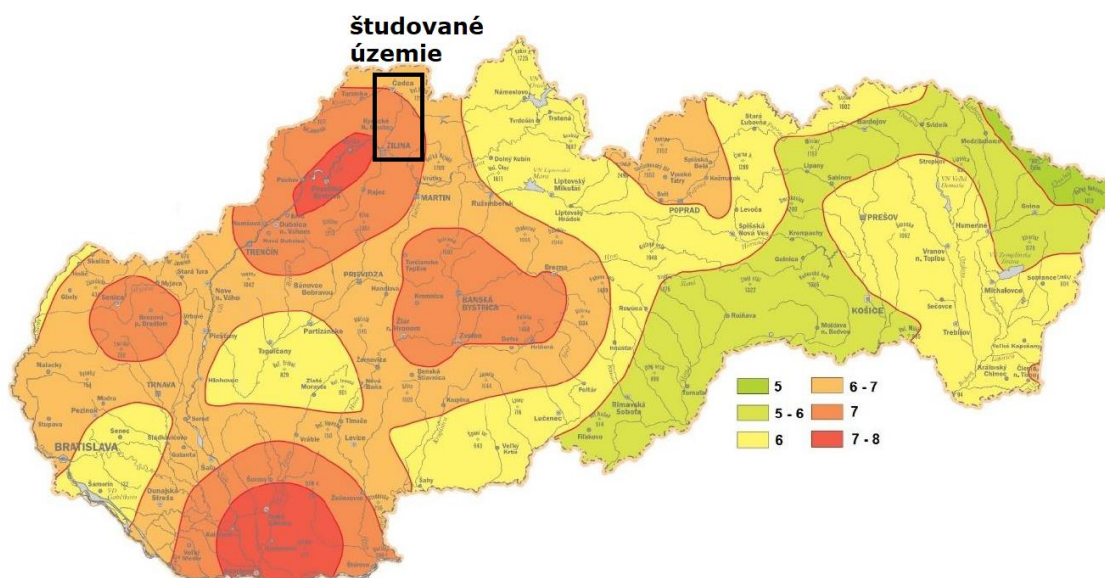
## 9 Seizmické ohrozenie

Seizmické ohrozenie je pravdepodobnosť  $P_i$  výskytu seizmického pohybu úrovne  $i$  (alebo  $I > i$ ) počas daného časového intervalu  $t$  na zvolenej záujmovej lokalite  $L$ . Seizmické riziko je pravdepodobnosť  $R$  vzniku škody v dôsledku seizmického ohrozenia. Seismicita je pravdepodobnosť  $P_m$  vzniku zemetrasenia s magnitúdom  $m$  (alebo  $M > m$ ) v časovom intervale  $t$  v určitej ohniskovej zóne  $S$ . Seizmické ohrozenie (Obr. 7) a seizmické riziko sa vzťahujú k zvolenej záujmovej lokalite, seismicita je charakteristikou ohniskovej zóny.

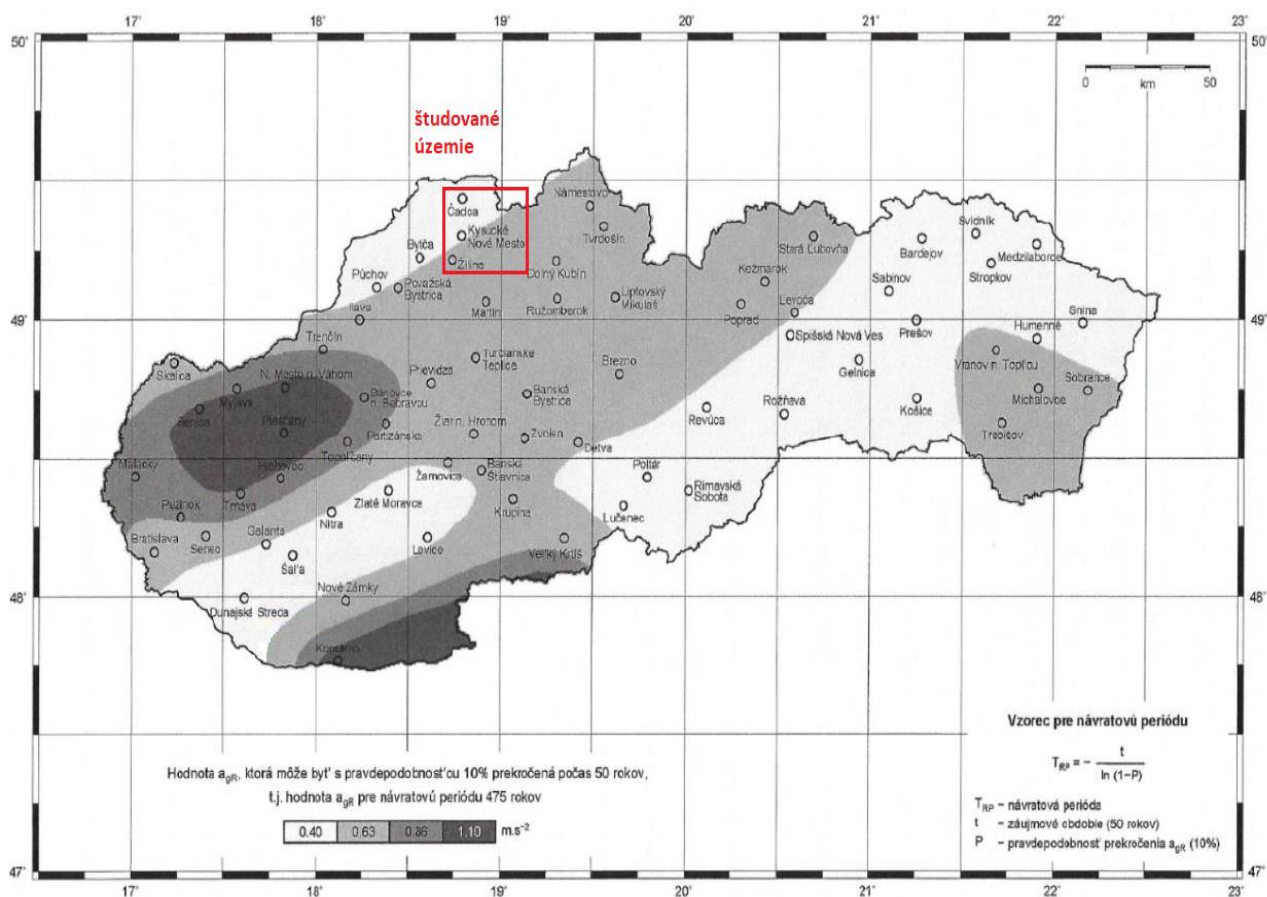
Často je používaný aj pojem seizmická aktivita. Vyjadruje časové a priestorové rozloženie zemetrasení na danom území. V zmysle normy EN 1998-1/NA/Z2 (Eurokód 8) je seizmické riziko definované jedným parametrom efektívnym špičkovým zrýchlením na povrchu voľného terénu skalného podlažia (Obr. 8) alebo veľmi tuhej zeminy a zodpovedá zemetraseniu s periódou výskytu 450 rokov. Vzťahuje sa stavebné na objekty so súčiniteľom významnosti  $\gamma_I = 1$  a priemernou životnosťou 50 - 100 rokov.

Podľa Obr. 8 sa pohybujú hodnoty špičkového zrýchlenia na skalnom podlaží medzi Žilinou a Čadca 0,4 do 0,63  $\text{m.s}^{-2}$ .

Obrázok 7 - Mapa seizmického ohrozenia v hodnotách makroseizmickej intenzity pre 90 % pravdepodobnosť nepresiahnutia počas 50 rokov (perióda návratnosti 475 rokov; Schenk et al., 1999)



Obrázok 8 - Seizmické ohrozenie v hodnotách referenčného špičkového seizmického zrýchlenia na skalnom podloží (EN 1998-1/NA/Z2)



Stavební projektanti vo výpočte seizmického zaťaženia považujú seizmické zaťaženie za dynamické zaťaženie. Seizmická sila sa nepovažuje za statickú silu, ale za silu, ktorej veľkosť závisí na frekvencii. Na výpočet seizmickej sily používajú spektrá seizmickej odozvy. Napriek tomu, že počas projektovania sa vynaložia značné prostriedky na vrtné práce, geológovia a následne projektanti používajú vo výpočtoch normové spektrá. Takýto prístup je však presne ten istý, ako keby sa v záujmovej lokalite nerobili žiadne geotechnické a geomechanické skúšky, ale by sa vychádzalo iba z normových hodnôt zemín a hornín.

*Tabuľka 3 - Referenčné špičkové seizmické zrýchlenie a seizmické ohrozenie*

Zdrojová oblasť seizmického rizika	Referenčné špičkové seizmické zrýchlenie $a_{gR}$ [ m.s <sup>-2</sup> ]	Seizmické ohrozenie
Žilina	0,63	7-8
Kysucké Nové Mesto	0,40-0,63	7

Vplyv geotechnických vlastností lokálnych štruktúr na seizmický pohyb určuje jeho odozvu v samotnom horninovom prostredí a jeho priebeh a prejavy na povrchu aj na stavebných dielach. Lokálne vlastnosti podložia ovplyvňujú jeho zaradenie do jednej zo štyroch kategórií - A, B, C a D podložia pre stavebné účely. Presná kategorizácia podložia by sa dala stanoviť len na základe merania rýchlosti šírenia pričných vĺn v záujmovom prostredí.

Najdôležitejším praktickým dôsledkom určenia seizmického ohrozenia pre nejaké územie (v skutočnosti súbor lokalít) je, že projektanti a stavební inžinieri majú k dispozícii hodnoty charakteristík seizmického ohrozenia, ktoré predstavujú vstup pre výpočet očakávaného seizmického zaťaženia stavebných konštrukcií. Pre bežné stavby na území Slovenska sa seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií určuje podľa normy EN 1998- 1/NA/Z2. V Európe je to norma EUROCODE 8. Pre lokality národohospodársky významných stavieb (jadrových elektrární, veľkých vodných diel a iných citlivých priemyselných komplexov, ktorých poškodenie by mohlo spôsobiť veľké sekundárne škody) by však malo byť seizmické ohrozenie určované osobitne. Hodnoty charakteristík seizmického ohrozenia sa používajú pre vypracovanie štúdií seizmického rizika alebo zemetrasných scenárov.

## 10 Súčasná seizmická aktivita na študovanom území

Seizmická činnosť na území Slovenska je zdokumentovaná v katalógu zemetrasení (Labák a Brouček, 1996), ktorý obsahuje viac ako 650 makroseizmických záznamov za posledných 500 rokov. Seizmická aktivita za posledných 100 rokov na Slovensku je pomerne stála a nevyskytli sa v tomto období silné zemetrasenia.

Medzi najvýznamnejšie identifikované seizmické (hotspot) zóny na Slovensku patria:

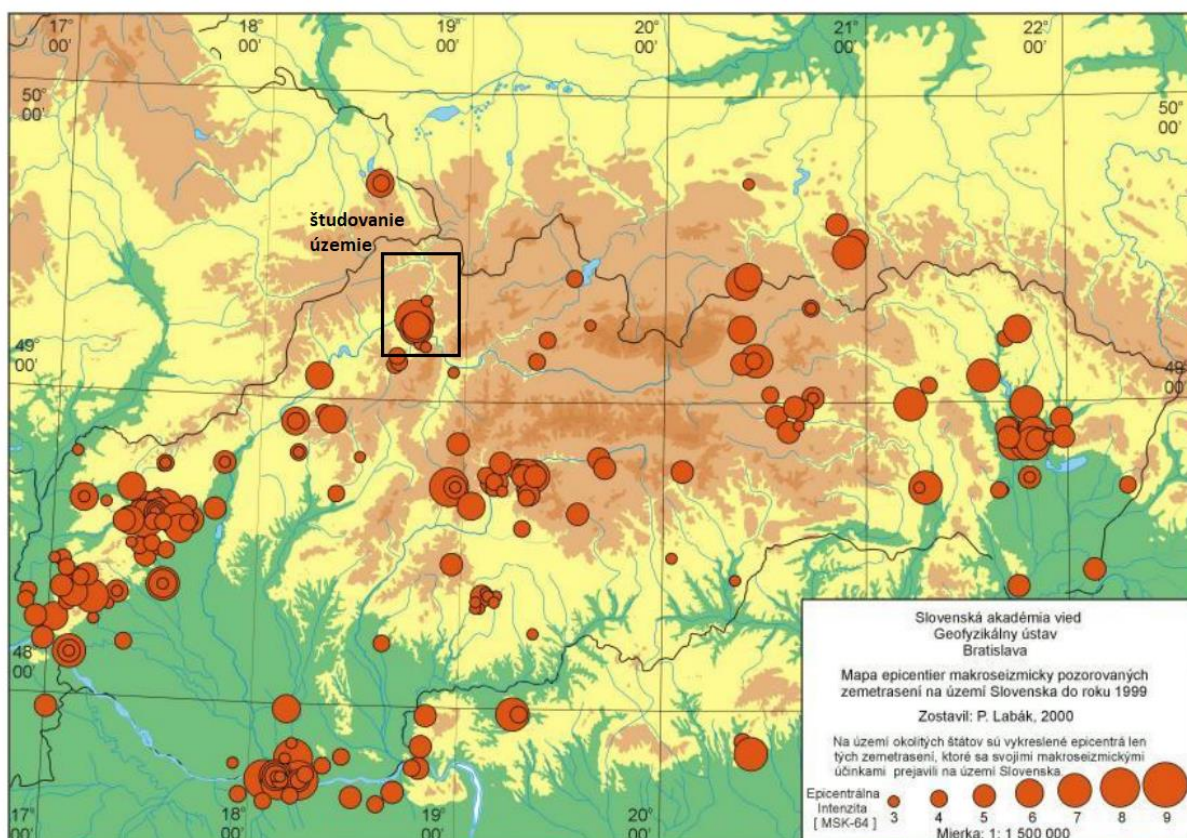
Pernek-Modra, Trenčín-Žilina, Komárno, stredné Slovensko - okolie Banskej Bystrice, Spiš a Slánske vrchy. V týchto uvedených oblastiach sa vyskytli zemetrasenia s intenzitou väčšou alebo rovnou stupňu 7 o EMS-98. V predchádzajúcich rokoch bolo však najviac seizmometricky



zaznamenaných zemetrasení v oblasti stredného, severného, južného alebo západného Slovenska. Svedčí to o prerozdeľovaní tektonických napätí, pričom seizmická energia sa uvoľňuje viac-menej rovnomerne po celom území Slovenska.

Neplatí to však pre makroseizmické prejavy, ktoré sa až na výnimky sústreďujú do známych seizmických oblastí. Trend postupného presúvania seizmickej aktivity do rôznych oblastí súvisí zrejme s celkovým pohybom povrchu územia Slovenska, pričom v rôznych obdobiach jednotlivé bloky zemskej kôry kladú tomuto pohybu rôzny odpor. Oproti minulosti však možno pozorovať celkový nárast uvoľňovanej seizmickej energie. Zatiaľ čo v roku 2004 bolo na Slovensku seizmometricky zaznamenaných 31 zemetrasení, v roku 2005 a 2006 to bolo viac ako 50 a v rokoch 2007 a 2008 viac ako 70. Aj keď je tento trend spôsobený **z časti i zvýšeným počtom a zdokonalením prístrojového vybavenia seizmických staníc**, celkový nárast uvoľňovanej seizmickej energie je zrejímavý.

Obrázok 9 - Mapa epicentier zemetrasení s makroseizmickými účinkami  
(P. Labák, 2000)



Študované územie leží v jednom z hlavných seizmických oblastí Slovenska. V území mesta Žilina sú evidované epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení.

Pozitívnym javom je, že seizmická energia sa aj v seizmických oblastiach, v ktorých sa v minulosti často vyskytovali silnejšie makrootrasy, uvoľňuje v súčasnosti početnejšími slabšími otrasmami. Pri uvedenom trende by ani v blízkej budúcnosti nemalo na Slovensku dochádzať k silným zemetraseniam.

Podrobnejšie údaje o monitorovaní seizmickej aktivity sú uvedené v čiastkovej správe Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami GFÚ SAV v roku 2008 (Cipciar a Kristeková, 2009).

Vzhľadom na recentné vyššie uvoľňovanie seizmickej energie vo väčšine ohniskových oblastí na území Slovenska v početnejších slabších zemetraseniach než tomu bolo v minulosti, nehrozia u nás zrejme v súčasnosti silné otrasy s väčšími dopadmi na technosféru a krajinu (Cipciar a Kristeková, 2009).

## 11 Záver

Boli vykonané odhady seizmického ohrozenia v hodnotách makroseizmickej intenzity pre 90 % pravdepodobnosť nepresiahnutia počas 50 rokov (t.j. periódu návratnosti 450 rokov) a súčasne odhady seizmického ohrozenia v hodnotách špičkového zrýchlenia na skalnom podloží.

Študovaný región je možné považovať za oblasť seizmicky aktívnu, v ktorej sú očakávané makroseizmické intenzity do 7 a 8 stupňov MSK-64. Hodnoty referenčného špičkového seizmického zrýchlenia na skalnom podloží sú odhadované od 0,40 do 0,63 m.s<sup>-2</sup>.

Z analýzy prírodných pomerov vyplýva, že študované územie sa nachádza v geologickom prostredí, kvartérnych hornín, ktorých sklon prevyšuje hodnoty až 25°. Uvedené faktory môžu prispieť ku vzniku svahových pohybov, ktoré sa vo vyššom počte nachádzajú na študovanom území. Predavším v blízkeho okolí Kysuckého Nového Mesta a mesta Brodno.

Z uvedeného vyplýva, že je potrebné individuálne posúdenie jednotlivých typov geologického podložia vzhľadom ku možnej zvýšenej seizmickej aktivite.

## 12 Literatúra

- Cipciar, A., Kristeková, M., 2009: Monitorovanie seizmických javov stálymi seizmickými stanicami GFÚ SAV v roku 2008. Manuscript. GFÚ SAV, Bratislava, 2009, 29 s.
- Čabalová, D., Baliak, F., Kopecký, M., 2009: Geológia. STU v Bratislave.
- Hrašna, M., 2006: Seizmická aktivita v epicentrálnej oblasti Dobrá Voda. Zborník Geológia a životné prostredie 5. ŠGÚDŠ Bratislava, 2006, 9 s.
- Maglay, J. , 1999: Neotektonická mapa Slovenska. MŽP SR, GS SR, Bratislava.
- Schenk, V., Schenková, Z., Kottnauer, P., Guterch, B., Labák, P., 1999: Analysis of Seismic Hazard. Slovak National Report to IUGG, 1995-1999. Contributions to Geophysics and Geodesy 29, spec. issue, 99-102.
- Eurocode 8/DIN 4149. Neue Regeln bei der Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1998.