

Nagyobb építmények tervezéséhez szükséges szeizmológiai ismeretek és vizsgálatok

1. A szeizmológiai vizsgálatok célja

A vizsgálatok célja a létesítmény tervezéséhez meghatározni a kérdéses terület földrengés veszélyeztetettségének fokát.

Magyarországon jelenleg a földrengés hatásaival szembeni védekezés műszaki szabályozása nem rendezett, csak az 1972-ben és az 1974-ben hatályba lépett műszaki előírások: az ME.92-72 és az ME.95-74 "Panelos épületek tervezése és kivitelezése" függelékében található: "A nagypanelos épületek földrengés hatására való méretezés előírása", valamint az 1981-től mindössze ajánlásként forgalomban lévő MI-04-133:81 "Méretezési irányelvek földrengési hatásokra" Építésügyi ágazati műszaki irányelv szabályozzák ezeket a kérdéseket. Remélhetőleg az EU csatlakozásunk időpontjától a hazai tervezési és építési gyakorlatban is érvényesíteni lehet az EUROCODE sorozat 8. sz. ajánlásait [18].

A jelenleg érvényes hazai törvények nem tartalmaznak konkrét előírásokat a különféle nagyobb kockázatú létesítmények helyszínének kijelöléséhez szükséges szeizmológiai vizsgálatokkal kapcsolatban sem. Az alábbiakban az ezekkel kapcsolatos tudnivalókat foglaljuk röviden össze [19].

A vizsgálandó terület méretét, az összegyűjtendő információk típusát és az elvégzendő vizsgálatok körét és részletezését nagymértékben a terület természete, geológiai, szeizmológiai és tektonikai sajátosságai határozzák meg. A vizsgálatoknak ki kell terjednie a rendelkezésre álló irodalom, a korábbi mérési adatok áttekintésére, továbbá a terepi és szükség esetén a laboratóriumi mérések elvégzésére. Az összegyűjtendő geofizikai információknak és az elvégzendő vizsgálatoknak elegendőnek és megfelelőnek kell lenni ahhoz, hogy ezekből meghatározhatók legyenek az építmények földrengések elleni tervezéséhez szükséges alapadatok.

Valamely terület alkalmasságának megállapításához mindenképp először elemezni kell a helyszín földtani felépítését, át kell vizsgálni a területre vonatkozó geológiai és geofizikai térképeket, továbbá előzetesen meg kell becsülni a tervezett terület szeizmicitását a hagyományos szeizmikus zónákra osztó térképek, a múltban bekövetkezett földrengésekre vonatkozó térképek, vagy katalógusok alapján. Célszerű már a kezdeti szakaszban is foglalkozni az aktivizálható törések felderítésével, a karsztos jelenségek vizsgálatával, az esetleges rézsűk állékonyságának kérdésével, a talajfolyás és a süllyedés lehetőségével. Az ilyen jellegű vizsgálatok eredményeit gondosan mérlegelve célszerű állást foglalni a magas kockázati szintű létesítmények (atomreaktorok, veszélyes-hulladék lerakók stb.) különböző lehetséges építési helyszínei közötti választáskor és dönteni a további részletes vizsgálatokról.

2. Szeizmológiai információk

Ha valamely terület szeizmológiai viszonyait meg akarjuk határozni, akkor a földrengésekkel kapcsolatos információk szerzésekor össze kell gyűjteni valamennyi korábbi földrengésre vonatkozó történeti és műszeres megfigyelések adatait; és mivel a rengések

döntő többsége törésvonalak menti elmozdulások révén keletkezik, fel kell kutatni a földtörténeti negyedkorban keletkezett törésvonalak helyzetét, hosszát, ha lehet törésfelületét. Magyarországon a földrengésekre vonatkozó adatok az MTA Geodéziai és Geofizikai Intézetének Szeizmológiai Observatóriumában, Budapesten található.

Hazánkban a személyek által észlelt és a különböző feljegyzésekben rögzített rengésadatok mintegy 1500 éves időtartamot fognak át, míg a műszerekkel regisztrált rengésadatok kb. 80 évre terjednek vissza. A megfigyelések szerint Magyarországon a rengések 5-10 km-es sekély fészekmélységben pattannak ki, eddig a legnagyobb rengések mérete sem haladta meg a 6-os Richter magnitúdó értéket, és az epicentrális intenzitás sem volt nagyobb a 8°-os MSK-64 intenzitás értéknél.

2.1 Történeti adatok

A tervezések alapjául szolgáló várható földrengések hatásainak meghatározásához szükséges információk jelentős részét a korábbi földrengési adatok teljes sorozata szolgáltatja. Ezért szükséges a rendelkezésre álló szeizmológiai adatok összegyűjtése olyan hosszú időtartamra visszamenőleg, amennyire csak lehetséges.

Természetesen ezen adatok többsége leírt jellegű, beleértve olyan információkat is, mint a megrongált, vagy lerombolt házak száma, a lakosság viselkedess és így tovább. Az ilyen jellegű információk alapján valamennyi földrengés intenzitási értékéből meghatározható a modern makroszeizmikus intenzitási skálaérték.

Magyarországon a már említett 1500 év alatt a történelmileg feljegyzett rengésadatok közül az első ötszáz évből mindössze három erős rengésről tudunk. A következő ötszáz évben már húsz rengésről van feljegyzés, 1500-tól 1900-ig pedig majdnem hatszázról. Az utóbbi években egy-egy földrengést követően akár több száz utórengés is regisztrálható. Mindez természetesen nem azt jelenti, hogy az utóbbi időkben egyre szaporodnak a földrengések, csupán jobb lett az információszerzés.

Nem célszerű semmilyen egyéni intenzitási skála használata és figyelembe kell venni a korábbi időkben használt intenzitási skálák eltéréseit. Gondot kell fordítani arra, hogy az intenzitási értékeket közös nevezőre kell hozni, számítani kell a változásokra, beleértve az építkezési típusok változásait, amelyek a korábbi és a későbbi adatok keletkezése között bekövetkezettek.

A korábbi földrengések intenzitási értékeinek megbecsülésekor figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a régi feljegyzésekből és a földrengést átélt egyénektől származó információ túlozni igyekszik a földrengésekkel kapcsolatos veszélyek és egyéb jelenségek nagyságát.

A lehető legalaposabban össze kell gyűjteni annak a szeizmotektonikai tartománynak valamennyi földrengéssel kapcsolatos adatát, amely a helyszínt magába foglalja. Ez általában akkora terület vizsgálatát követeli meg, amelynek sugara a terület jellemzőitől függ és nagysága száztól akár több száz kilométerig is terjedhet. Az összegyűjtendő történeti adatok:

- intenzitási értékek az egyes földrengések epicentrumában (a legnagyobb intenzitási értékek),
- intenzitási. értékek a tervezett helyszínen,
- izoszeizmikus térképek,
- magnitúdó értékek,
- az epicentrumok és a hipocentrumok helye.

Fel kell használni az intenzitási skálaértékeket, az épületekben okozott károsodást és a talajhatások adatait, a helyi vetődések ismeretével együtt, a korábbi, műszerekkel nem mért földrengések epicentrumának és magnitúdójának meghatározásához.

2.2 Műszerekkel feljegyzett adatok

A történeti adatok mellett össze kell gyűjteni az adott területen rendelkezésre álló valamennyi műszeres feljegyzésből származó földrengésekkel kapcsolatos információt is. Az adatok gyűjtése az alábbi szempontok szerint történjen:

- az epicentrumok és a hipocentrumok elhelyezkedése,
- a keletkezés ideje,
- a magnitúdó,
- az utóregési zónák,
- a jelzett maximális intenzitási skálaértékek,
- izoszeizmikus térképek,
- minden olyan egyéb rendelkezésre álló információ, amely a szeizmotektonikai vizsgálatokban felhasználható.

Bizonyos, földtanilag szokatlanul bonyolult szeizmotektonikai területek esetében - például amelyeknek bonyolult a neotektonikájuk, vagy ahol a szeizmikus adatok nem megbízhatóak - szükséges lehet a földrengésekre vonatkozó, rendelkezésre álló előtörténeti és műszeres adatok kiegészítése. Ilyen esetekben a telephely 10-20 km-es környezetében - amennyiben az emberi tevékenység okozta háttérzaj megfelelően alacsony - célszerű lehet érzékeny szeizmográfok hálózatának telepítése és ezekkel a mikroregések megfigyelése. Mintegy 6 állomásból álló 100000-szeres vagy ennél nagyobb nagyítással regisztráló műszerek hálózata esetén 1-2 éves megfigyelés során elegendő adatot nyerhetünk az esetleges törésvonalak aktivitásának megállapítására.

A hálózat közelében, vagy a hálózaton belül jelzett mikroregések helyének pontos meghatározásával adatok nyerhetők a terület szeizmotektonikai vizsgálatához, és a megfelelő tervezési alapként szolgáló talajmozgások meghatározásához. Tudomásul kell venni azonban, hogy bizonyos aktív törésvonalak esetleg nem újulnak meg a mikroregéses tevékenység megfigyelésének időtartama alatt. Több éves időtartamra lehet szükség ahhoz, hogy megfelelő adatokat nyerjünk a szeizmotektonika értelmezéséhez [15].

2.3 Neotektonikai információk

Miután a szerkezeti rengések minden esetben törésvonalak menti elmozdulások révén keletkeznek, ezért a regionális neotektonikai vizsgálatok során össze kell gyűjteni minden ezzel kapcsolatos információt, meg kell határozni az utóbbi néhány százezer évben keletkezett törésvonalak helyzetét, hosszát, ha lehet a törésfelületét.

Magyarországon a törésvonalak meghatározásához szükséges vizsgálatok az utóbbi évtizedekben előtérbe kerültek, sajnos azonban a szükséges mértékben még nem állnak rendelkezésre információk. Ha valamely területen törésvonal térkép áll rendelkezésünkre, ez igen jelentős támpontot adhat ezen terület földrengés veszélyeztetettségének meghatározásához.

A törésvonalak meghatározásához a legfontosabb információt a szeizmológiai aktivitás adja. Valamely törésvonal aktivitásáról - amennyiben az aktivitás kis rengésekben nyilvánul meg - akkor szerezhethetünk tudomást, ha a fészkekhez közel nagy érzékenyséű szeizmográfokkal felszerelt állomás működik. Mivel Magyarországon eddig egyszerre még fél tucat állomás sem működött és nagy nagytűsű szeizmográfok is alig több mint húsz éve vannak, ezért az ország területén előforduló mikrorengések a szeizmogramokon általában a zajszint alatt észrevétlenek maradnak - ha pedig valamely állomás észleli is, még a rengések eredetét sem lehet biztosan megállapítani (vagyis, hogy természetes vagy mesterséges eredetű rengés történt-e). Mindebből az következik, hogy a törésvonalak helyének megállapításához a későbbiekben részletezett földtani és a különféle geofizikai (pl. szeizmikus, geoelektromos, földmágneses, gravitációs, mélyfűrészi) vizsgálatok mellett szükséges lehet a már említett nagy érzékenyséű szeizmológiai állomások létesítése és ezekkel a mikrorengéses tevékenység megfigyelése.

Neotektonikai kérdések vizsgálatánál figyelmet érdemelnek a geodéziai megfigyelések is, amelyek a felszín jelenlegi horizontális és vertikális elmozdulásaival kapcsolatosak. Amennyiben rendelkezésre állnak mozgásvizsgálati adatok vagy térképek, ezeket is tanulmányozni kell.

Valamely terület földrengés veszélyeztetettsége kellőképpen nagyszámú földrengés esetén a korábbi rengési adatok statisztikai vizsgálatával; kevés rengési adat esetén inkább a felderített törésvonalak alapján becsülhető meg. Az utóbbi években több tanulmány is foglalkozott a földrengések Richter-magnitűdója és a hozzá tartozó törésfelület (illetve töréshossz) közötti kapcsolattal [2]. A törésfelület nagyságát általában az utórengések hipocentrumai alapján lehet kijelölni, mivel az a felület, ahol az utórengések fészkei elhelyezkednek, közelítöleg azonosnak tekinthető a törési felülettel. A törésfelületek nagyságára viszonylag pontos információk nyerhetők szeizmikus mérésekből is.

Kisebb ($M < 6$) Richter magnitűdójú rengések és az S törésfelület nagysága között a

$$\log S = \frac{2}{3}M - 2.28$$

közelítő összefűggés írható fel [5], ahol S a törésfelület nagysága km^2 -ben.

Fontos mindig szem előtt tartanunk, hogy ha valamely területről kevés földrengés adatunk van (márpedig Magyarország bizonyos területeiről igen kevés, sőt helyenként jóformán semmi adat nincs), akkor ennek az oka nem csak az lehet, hogy a terület rengésmentes és ott elő sem fordulhatnak földrengések. Inkább arra kell számítani, hogy az utóbbi 80-100 év alatt ugyan nyugalomban volt a vidék, de ha a területen található a földtörténeti jelenkorban keletkezett törésvonalak, akkor hosszuknak, felületüknek megfelelő magnitűdójú földrengések az adott helyen előfordulhatnak a jövőben is.

3. Földrengésekkel kapcsolatos földtani információk és vizsgálatok

3.1 Regionális földtani vizsgálatok

A tágabb körzet geológiai adatainak összegyűjtése és a geológiai vizsgálatok elvégzésének az a fő célja, hogy olyan ismereteket biztosítson a terület általános földtani felépítéséről és tektonikai helyzetéről, amely szükséges a földrengések értelmezéséhez és a szeizmotektonikus tartományok meghatározásához. Az információk az adott területen a

földtani felépítésből adódó veszélyek típusainak meghatározásához is felhasználhatók. A kérdéses területre vonatkozóan az alábbi geológiai információkat kell beszerezni:

- A talajra vonatkozó jellemzők:

Ahol földtani térképek állnak rendelkezésre, ott figyelmet kell fordítani a litológiai egységek meghatározására - pl. kristályos, vulkanikus, üledékes, alluviális képződményekre.

- A geológiai rétegek tanulmányozása:

Meg kell vizsgálni a rétegek vastagságát, mélységét, korát, oldalirányú kiterjedését, és egymással való kapcsolatukat.

- Tektonika:

A vizsgálatok során különös figyelmet kell fordítani a törésvonalakra. Hasznos lehet a topográfia és a geomorfológia tanulmányozása az esetleges, közelmúltban végbement talajmozgások kimutatására. Vizsgálni kell a terület tektonikai karakterét, azaz a rétegek vízszintes folyamatosságát, gyűrődéseit, vetődéseit, - különösen az esetleges gyűrődések és a vetődések korát.

Meg kell vizsgálni az esetleges vetődések jellegét, típusát és a szeizmotektonikus tartományokkal kapcsolatos nagy vetődéseket. A szeizmikusan esetleg aktivizálódó vagy aktív vetődésekre vonatkozó információk érdekében tanulmányozni kell ezek hosszát, mélységét, csapásirányát, és dőlését, a szerkezeti kapcsolatokat, továbbá ezek korát. Figyelmet kell fordítani a negyedkori üledékek kiértékelésére és részletes neotektonikai tanulmányokat kell végezni.

A legújabb kori tektonikai mozgások meghatározásához igen fontosak különféle geofizikai vizsgálatok. Ezek közül is elsősorban a szeizmikus reflexiós és refrakciós mérések adják a legtöbb információt a felszín alatti szerkezetek felépítéséről, vetődések elhelyezkedéséről. Szükség van emellett gravitációs, tellurikus, magnetotellurikus mérésekre is. Fontos lehet ismerni a homogén blokkok egymáshoz viszonyított mozgását is, ezért esetenként geodéziai mozgásvizsgálati méréseket is célszerű végezni.

- Felszín alatti jellemzők:

Ahol az alaphegységnek nincs felszíni kibúvása de ugyanakkor megfelelő adatok állnak rendelkezésre, ott az alaphegység felszínéről szerkezeti térképet lehet készíteni. A szükséges felszín alatti részletek megszerzéséhez a rendelkezésre álló geofizikai vizsgálatokból pl. szeizmikus, gravimetriai földmágneses és geoelektromos kutatásokból származó információkat kell felhasználni. Az így elkészített térkép lehetővé teszi a földrengések és olyan mély tektonikus szerkezetek közötti esetleges kapcsolatok meghatározását, amelyek a felszínen közvetlenül nem nyilvánulnak meg.

A fenti adatok nagy részét az adott terület jellegének, bonyolultságának, valamint a további vizsgálatok céljának megfelelő méretarányú geológiai térképeken célszerű bemutatni. A tágabb környezet geológiai adatait részben a korábban már nyomtatásban megjelent forrásokból, részben pedig új mérések alapján lehet beszerezni. Ez utóbbi célra felhasználhatók pl. a távérzékelés (remote sensing) módszerei, és ahol kevés a nyomtatásban megjelent információ, szükséges lehet további terepi kutatásokat végezni (pl. szeizmikus reflexiós és refrakciós módszerekkel vagy fúrással).

3.3 A helyszín tágabb környezetének vizsgálata

A tervezett telephely közvetlen (kb. 10 km sugarú) és tágabb (legalább 100 km sugarú) környezetének szeizmológiai célú geológiai vizsgálatai során fel kell tárni az esetleges földrengések forrását rejtő tektonikus szerkezeteket, meg kell határozni az esetleg jelenlévő vetődések korát és foglalkozni kell az építmény biztonságát befolyásoló egyéb olyan veszélyforrások feltárásával, mint pl. a karsztos jelenségek, vagy süllyedések.

Ennek céljából meg kell vizsgálni a környezet általános geológiai és geomorfológiai jellemzőit. A felszín hullámossága és dőlése, a vízfolyások jellege, az eróziós hatások, a növényzet, az esetleges lecsapolási viszonyok, vagy a felszínre bukkanó kőzetek jó kezdeti útmutatással szolgálhatnak a geológiai szerkezetre vonatkozóan.

A felszíni megfigyeléseken túlmenően az alábbi méréseket és megfigyeléseket kell elvégezni a tervezett telephely tágabb környezetének vizsgálatához:

- Szeizmikus mérések:

A mesterségesen keltett földrengések során kialakuló rugalmas hullámok vizsgálata - a szeizmikus reflexiós és refrakciós technika - a leghatékonyabb eszköz a felszín alatti viszonyok megismerésére. Ennek a technikának az alkalmazása alapvetően fontos mélységi információkat szolgáltat, elkerülhetetlen és mással nem helyettesíthető információszerzési módszer. A szeizmikus mérésekkel az egyes rétegek vastagsága és az anyag dinamikus tulajdonságai határozhatók meg a rugalmas (P és S) hullámok terjedési sebességének vizsgálatával. Ezzel a módszerrel meghatározható a szeizmikus hullámok terjedési sebessége a különböző azimutokban. (Ez az információ felhasználható többek között arra is, hogy a szeizmikusan aktív vetődések jelenlétét és elhelyezkedését kimutassuk.)

- Talajrengési jellemzők meghatározása:

A rengési jellemzők különleges mérésekkel - a földfelszínre és a talajba elhelyezett speciális szeizmográfokkal, a normál és a mikrorengések megfigyelésével - határozhatók meg. Így a terület szeizmikus hullámainak természetén túlmenően meghatározható a talaj uralkodó természetes frekvenciája, valamint a különböző felületek és a fekü közötti amplitúdó arányok.

3.3 A helyszín és közvetlen környezetének vizsgálata

A helyi geológiai és kőzetfizikai viszonyok, a talaj tulajdonságai jelentősen befolyásolhatják a tervezett helyszínen a földrengéshullámok lefutását (a talajmozgási jellemzőket) és módosíthatják a máshol megfigyelhető jelenségeket. Azaz ugyanazon alapkőzet által szolgáltatott input esetén a különböző rétegzett kőzeteken áthaladó output más-más lesz (amelyet egyebek között a rétegek energiaátviteli és disszipatív viszonyai, továbbá a rétegek geometriája határoznak meg).

Az eddigi szeizmológiai megfigyelések azt mutatják, hogy összefüggés áll fenn a talajtakaró mélysége és szilárdsága, valamint a felületi talajmozgások erőssége között. (Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy ugyanazon földrengés károsító hatása azonos építmények esetében szűk területen belül is jelentősen eltérő lehet, a talajviszonyok függvényében [1] .)

Tekintettel az ilyen jelenségek összetettségére és együttes kölcsönhatásaira, általában részletes helyi vizsgálatokra van szükség.

Ezzel kapcsolatosan az alábbi vizsgálatokat kell elvégezni:

- Meg kell határozni az egyes rétegek különböző geológiai és fizikai jellemzőit (pl. a rétegek vastagságát, mélységét és közetmechanikai tulajdonságait).
- A helyi tektonika értékelése során vizsgálni kell a felszíni, vagy a felszínközeli vetődések jelenlétét és ezek geometriáját (pl. hosszát, dőlését és ahol lehetséges, mélységét). Meg kell vizsgálni a helyi vetődéseknek a távolabbi környék szerkezeti vonalaihoz, - különösen az aktív, vagy aktivizálható törésvonalakhoz - való viszonyát és korábbi földrengésekkel való kapcsolatát.

4. A földrengésekkel kapcsolatos tervezési alapadatok meghatározására szolgáló vizsgálatok és módszerek

Az adott telephelyre ki kell értékelni a tervezés alapadataul szolgáló várható talajmozgások mértékét. Általában két veszélyességi fokozatot szokás megkülönböztetni: az S1-et és az S2-t.

S1 az a legnagyobb talajmozgás, amely a létesítmény élettartama során az adott területen várhatóan egyszer bekövetkezhet. A kiszámításához valószínűségi számítási és szeizmotektonikai megfontolások használhatók, értéke az adott helyen bekövetkezett korábbi földrengések alapján határozható meg. Általános gyakorlat az is, hogy S1. értékét igen egyszerűen az S2 törtrészeként (pl. feleként) határozzák meg.

S2 az a talajmozgási fokozat, amely esetében már elhanyagolhatóan kicsi a valószínűsége annak, hogy ennél nagyobb talajmozgásokat előidéző földrengés az adott területen bekövetkezhet. Ez a tervezési célokra használható talajmozgási szintek maximumát jelenti, így ennek figyelembevétele megfelel a legnagyobb biztonsági követelményeknek. Az S2 értéke szeizmotektonikai módszerek szigorú alkalmazásával állapítható meg. Ehhez többek között meg kell határozni a környező terület szeizmotektonikus tartományait és a szeizmikusan aktív szerkezeteket.

4.1 Szeizmotektonikus tartományok meghatározása

Azok a területek képeznek egy szeizmotektonikus tartományt, amelyek geológiai szerkezete és a szeizmikus jellemzői hasonlóak. A szeizmotektonikai tanulmányok célja olyan földrajzi területek meghatározása, melyeken belül adott erősségű rengések egyforma valószínűséggel fordulhatnak elő.

Az egyes szeizmotektonikus tartományok határainak megállapításához meg kell adni a kérdéses területre - az előző részben már ismertetett - szeizmológiai és geológiai adatokat, fel kell sorolni a tektonikus szerkezetek jellemzőit, továbbá a tektonikai előtörténet és a jelenlegi földrengéses tevékenység jellemzőit. (Például a szeizmotektonikus tartományok határa olyan területeket különíthet el, amelyek erősen eltérő tektonikai hálózattal rendelkeznek, vagy olyan területeket, ahol a jelenlegi feszültségek különbözőek, vagy ahol az újharmadkori és a holocén tektonika nagymértékben különbözik egymástól.) Óvatosan kell eljárni a szeizmotektonikus tartományok határainak meghatározásakor, az azonos szeizmotektonikájú vagy azonos földtani felépítésű területek szerkezeteit ugyanazon tartományba kell belefoglalni. A szeizmicitás szempontjából valamennyi tektonikus

szerkezetet egészében kell belevenni ugyanazon szeizmikus tartományba (amikor kétséges, hogy egyik szerkezet a másiknak folytatása-e, célszerű mindkettőt ugyanazon szerkezetnek tekinteni és ennek megfelelően a tartományt úgy kiterjeszteni, hogy az mindkettőt tartalmazza).

A szeizmicitás nagyságában lévő jelentős különbségek különböző tektonikai viszonyokra utalhatnak, amelyeket a szeizmotektonikus tartományok meghatározására lehet felhasználni. Visszamenőleg a lehető leghosszabb időre kell ismerni a szeizmicitás adatokat ahhoz, hogy a következtetések megbízhatóak legyenek.

Elemezni kell a kérdéses terület szeizmotektonikájára vonatkozóan a rendelkezésre álló irodalmi forrásokban található esetleges alternatív értelmezéseket is. Abban az esetben, amikor a megfigyelt szeizmológiai és geológiai adatok a különböző értelmezésekkel egyaránt jól magyarázhatók, mindig azt a megoldást kell választani, mely a kérdéses területre a veszélyesebb talajmozgásokat eredményezi.

Amikor valamely földrengés epicentruma, vagy epicentrum csoportja kapcsolatba hozható a tektonikai szerkezettel, akkor meg kell vizsgálni a szerkezet regionális tektonikai hálózattal való kapcsolatát, és meg kell vizsgálni, hogy a kapcsolódó területek is szeizmikusan aktívnak tekinthetők-e.

4.2 Az adott helyszínen várható maximális talajmozgások meghatározása

Adott területen bekövetkező talajmozgás több tényezőtől, többek között a földrengés intenzitásától, magnitúdójától, forrásmechanizmusától, az epicentrumtól mért távolságtól, a telephely és a közvetítő kőzetek jellemzőitől és a rengés időtartamától függ.

A talajmozgások meghatározásához általában az alábbi módszereket szokták használni:

- Intenzitás módszer:

Az intenzitásmérés alapuló módszer akkor alkalmazható, amikor a földrengéseget epicentrális intenzitásértékkel jellemzik. Ebben az esetben adott területen az intenzitáscsillapodás a múltban lejáratott földrengések alapján megszerkesztett izoszeizmikus térképek segítségével határozható meg. A kérdéses helyen az intenzitás meghatározása után ki kell számítani a rengéshullámok okozta legnagyobb talajgyorsulást, vagy sebességet a megfelelő intenzitás-gyorsulás görbék segítségével [3,6,8,10,17]. Az adatok általában nagyon szórnak, ezt figyelembe kell venni a megfelelő összefüggések kiválasztásánál.

- Magnitúdó módszer:

A módszer akkor alkalmazható, amikor a földrengések magnitúdóját ismerjük. Ebben az esetben olyan összefüggések írható fel, amelyek megadják a kérdéses talajmozgási paramétereket (a legnagyobb sebességet és a csúcsgyorsulást) a magnitúdó és a telephelynek az epicentrumtól mért távolsága függvényében [6,8-13,16,17]. Az adatok ennél a módszernél is nagyon szórnak, ezt a szórást érdemes figyelembe venni a helyes összefüggések megválasztásánál.

- Valószínűségi számítási módszer:

A valószínűség számítási módszerrel annak a talajmozgásnak a mértéke határozható meg, amelynél nagyobb mértékű talajelmozdulások csak megfelelően kicsi valószínűséggel fordulhatnak elő a kérdéses telephely területén. Ehhez a környező területeken tapasztalt földrengések intenzitási adataira és megfelelő valószínűség számítási modellre van szükség [9]. Mivel a rendelkezésre álló adatok mennyisége és megbízhatósága általában korlátozott, az egyszerű valószínűség számítási módszert rendszerint csak az S1 meghatározására lehet használni. Az S2 meghatározásához a valószínűség számítási módszer csak szeizmotektonikai információk figyelembevétele mellett alkalmazható.

A legnagyobb talajmozgások valószínűségének kiszámításában a becslések megbízhatósága elsősorban a rendelkezésre álló szeizmológiai adatok által átfogott időtartamtól és kisebb mértékben az adatsor teljességétől függ. Ezért a várható talajmozgások becslésének megbízhatósága akkor a legkedvezőbb, ha a szeizmológiai adatok a lehető leghosszabb időszakból származnak. Ugyanakkor viszont a régebbi adatok a műszeres megfigyelések előtti időkből származnak, ezért általában pontatlanok és nem is teljesekek. Végül megemlítjük, hogy azokon a területeken, ahol nem állnak kellő mennyiségben rendelkezésre szeizmotektonikus adatok, az S2 megbecsülésére igen egyszerű módszert szokás használni. Ennek az a lényege, hogy először meghatározzák a kérdéses területen a korábban előfordult legnagyobb intenzitás értéket, ezt kb. két intenzitásegységgel megnövelik, és az ennek megfelelő sebesség illetve gyorsulás értékkel számolnak a tervezés során.

5. A helyi felületi vetődések

Alapvetően fontos elvégezni azokat a vizsgálatokat, amelyek megállapítják, hogy a tervezett telephely területén található-e felületi vetődések; és ha igen, akkor ezek a vetődések aktivizálódhatnak-e vagy sem. Aktivizálódó vetődésnek kell tekinteni azokat a vetődéseket, amelyek szerkezeti kapcsolatban vannak valamely ismert aktív vetődéssel úgy, hogy a felületen vagy ennek közelében egyik mozgás a másik mozgást előidézheti. Ugyancsak aktív vetődésnek kell tekinteni azokat, amelyek a felszínen vagy ennek közelében ismétlődő mozgásokra utaló bizonyítékokat szolgáltatnak kb. egy évre visszamenőleg. Mindezek a szeizmikusan aktív vetődések felületi elmozdulásokat idézhetnek elő a tervezett helyszínen.

5.1 A felületi vetődések szükséges vizsgálata

Mindenek előtt a felszíni és a felszín alatti rétegekre vonatkozóan kellő mennyiségű geofizikai és geológiai információt kell összegyűjteni annak a kérdésnek a megválaszolására, hogy a kérdéses helyszínen, vagy ennek közelében vannak-e jelentős vetődések. Amennyiben vannak, akkor a mozgások irányára, nagyságára, történetének meghatározására és a legutóbbi mozgások korának megállapítására megbízható információkat kell szerezni. Különös figyelmet kell fordítani a helyszínen, vagy a környezetének azon geológiai sajátosságaira, amelyek lehetőséget adnak a vetődések megkülönböztetésére, vagy amelyek hasznosak lehetnek a vetődések korának megállapítására. Amikor egy vetődés helye felismerhető, vagy gyanítható, topográfiai és rétegtan elemzéseket, árkolást, vagy egyéb szükséges vizsgálatokat kell elvégezni annak megállapítása érdekében, hogy valóban volt-e töréses mozgás az adott területen. Célszerű légifényképeken látható, vagy a távérzékelő berendezések által jelzett

valamennyi lineáris topográfiai képződmény vizsgálata (ez bizonyos esetekben - a helyszíntől távoli - részletes geofizikai és geológiai vizsgálatokat igényelhet).

A szükséges vizsgálatok típusa, valamint a használható kutatási módszerek a helyszín földtani felépítése és a fiatal tektonika előtörténetének megfelelően változhat. Általában minimális követelmény a helyszíni környezet részletes felszíni geológiai térképének elkészítése. A térképszerkesztés a terepi térképezés eredményein, a légi fényképek elemzésén, vagy más rendelkezésre álló adatokon alapul. Kis szeizmicitású, szerkezeti és rétegtani szempontból egyszerű helyszínek esetében esetleg nincs szükség kiterjedtebb vizsgálatokra. Földtani szempontból bonyolult helyek, vagy nagyobb szeizmicitású területek esetében részletesebb vizsgálatokra lehet szükség. A helyszín és környezete földtani viszonyaitól függően a kérdéses területen célszerű elvégezni a felszín alatti rétegek geofizikai és geológiai vizsgálatait, amelyek kiterjedhetnek a fúrásos geofizikai tevékenységre, gravitáció és földmágneses kutatásokra, szeizmikus reflexiós és refrakciós vizsgálatokra, kutatófúrásokra, árkok, aknák és tárók kihajtására.

Olyan területeken, ahol a vetődések mentén a felszín közelében nem fordult elő mozgás, azonban felmerül a lehetősége ún. kiváltott szeizmikuság bekövetkezésének, célszerű a fentebb felsorolt vizsgálatok némelyikét elvégezni. (Kiváltott szeizmikuság alatt azokat a lehetséges szeizmikus eseményeket értjük, amelyek nagyobb létesítmények /pl. gátak, víztározók/, illetve nagy mennyiségű folyadéknak a talajba történő bevitelére, vagy az onnan történő kitermelése idézhet elő. A kőzetekben ilyen viszonyok következtében kiváltott feszültségváltozások szeizmikus tevékenységeket idézhetnek elő. Az ilyen jelenségek által kiváltott földrengések általában sekély fészekmélységűek és a tározó, illetve a beviteli vagy kitermelési terület szomszédságában lokalizálódnak.

A vetődéseken a közelmúltban bekövetkezett mozgások időpontját számos módszerrel meg lehet határozni; például szerkezeti vagy rétegtani ismétlődések kimutatásával, a geomorfológiai és az izotópos geokronológiai módszer segítségével. Az ellenőrzés és a megbízhatóság növelése érdekében ezen módszerek közül egyszerre többet célszerű használni egy adott helyszínen.

Végül meg kell vizsgálni valamennyi olyan jelentős vetődést, amely az adott hely környezete felé irányul, ezt metszi vagy ezen belül helyezkedik el, annak megállapítása céljából, hogy a vetődést kapcsolatba lehet-e hozni a makroszeizmikussággal. Ehhez ki kell értékelni a területen kipattant valamennyi ismert földrengést, fel kell térképezni a korábbi földrengések epicentrumait, el kell készíteni a tágabb környezet tektonikájával együtt a töréses zónákkal kapcsolatban lévő izoszeizmikus térképeket és be kell szerezni az utóregések eloszlására vonatkozó valamennyi lehetséges információt.

6. földrengésekkel kapcsolatos veszélyes jelenségek

A megfigyelések szerint az egyes földrengések intenzitás-eloszlását szemléltető izoszeiszták bonyolult alakú görbék, ritkán hasonlítanak körhöz, és helyenként - az epicentrumtól távolabb is - váratlan maximumhelyek találhatóak, ahol az adott rengés pusztító hatása jelentősen felerősödik a környezetéhez viszonyítva. A vizsgálatok szerint valamely földrengés romboló hatása (az izoszeiszták alakja) nem csupán az epicentrális távolság függvénye, hanem függ az energia kisugárzás módjától, a megrázott területen lévő törésvonalaktól, a mélyszerkezeti viszonyoktól, a domborzati viszonyoktól, az altalajtól és a létesítmények minőségétől. Ha a rengéshullámok frekvenciaspektruma olyan, hogy egy sáv egybeesik az építmény területén a talaj sajátrezgéseivel, rezonanciajelenség miatt a talajrészecskék rezgésamplitúdója megnövekedik. Bizonyos szerkezeti és talajviszonyok

esetén energiadiSSIPációt vagy interferencia jelenségek miatt ennek éppen az ellenkezőjét tapasztalhatjuk: a rezgések amplitúdója a környezetéhez viszonyítva csökken. Ha az egyes talajfajták okozta intenzitásváltozásokat a legfontosabb talajféleségek szerint összehasonlítjuk egymással, meghatározhatjuk az összes talajféleségre vonatkozó intenzitásváltozást egy bizonyos etalonhoz (általában a gránithoz) viszonyítva. A vizsgálatok alapján a rengéshullámok amplitúdójának felerősödése többek között függ a kőzetek keménységétől. és talajvíztartalmától: a lazább konszolidálatlan (különösképpen a feltöltött) talajok és a magasabb talajvíztartalom esetén várható a hullámok felerősödése és így a nagyobb romboló hatás. Ugyancsak a romboló hatás jelentős felerősödésével kell számolni az (akár teljesen passzív) törésvonalak jelenléte esetében is, az itt kialakuló nagy amplitúdójú felületi hullámok fellépése következtében.

Mindezek miatt szükséges a kérdéses helyszín területének igen részletes földtani, szerkezeti, talajtani feltárása. Tanulmányozni kell a korábbi természetes (és szükség esetén mesterségesen keltett) földrengések intenzitáseloszlását annak megállapítása érdekében, hogy várható-e a rengéshullámok felerősödése a kérdéses területen.

Kedvezőtlen geológiai környezetben a szeizmikus események a létesítmények biztonságát további okok miatt is kedvezőtlenül befolyásolhatják. Ide sorolhatjuk a földrengés által előidézett esetleges talajfolyást vagy földcsuszamlásokat, emellett különböző süllyedéseket és beomlásokat.

6.1 Talajfolyás

A földrengéskárok növelésében igen fontos szerepet játszik a talajok cseppfolyósodása. Ha bizonyos kőzetfajtákat (pl. egyes homok és agyagfajtákat) váltakozó irányú rugalmas feszültségváltozások érik, még viszonylag tömör (konszolidált) állapotban is további tömörödés (negatív dilatancia) következhet be, mely vízzel telített kőzetek esetén pórusnyomás növekedéshez vezet. (A tömörödés akkor a legnagyobb, amikor a rengési hullámspektrumnak van a talaj sajátrezgési periódusával megegyező sávja.) Amennyiben a váltakozó rugalmas feszültség frekvenciája olyan nagy, hogy a kőzet permeabilitása sem teszi lehetővé a pórusvíz elszivárgását, a térfogatcsökkenés egyetlen periódus alatt sem lesz egyenlő a pórustérfogat csökkenésével és így a pórusnyomás fokozatosan nő. Ennek következtében a nyírószilárdság csökken, a talajdeformációk növekednek. Esetenként a pórusnyomás annyira megnő, hogy a kőzet nyírószilárdsága megközelíti a 0 értéket, a kőzet gyakorlatilag folyadékszerűen viselkedik. Ez a jelenség a megfigyelések szerint csak bizonyos szemcseméretű homokos kőzeteknél figyelhető meg; ezek a kőzetek viszont a Föld felszínén olyan általánosan elterjedtek, hogy a talajfolyás szinte valamennyi rengés esetén fellép [7].

A fentieknek megfelelően a talajfolyásra való hajlamot a kérdéses területen minden esetben meg kell vizsgálni. A vizsgálathoz az alábbi információkat szükséges begyűjteni:

- az üledékeknek, valamint a talajfolyásra hajlamos rétegeket alkotó kőzeteknek a szemcseméret eloszlását, sűrűségét, relatív sűrűségét, statikus és dinamikus nyírófeszültségét, a feszültségek keletkezésének okát és a rétegek korát,
- a talajvíz szintjét,
- a talajnak, illetve a kérdéses kőzeteknek az átitatódással szembeni ellenálló képességét,
- a nyíróhullámok terjedési. sebességét,
- a múltban bekövetkezett talajfolyásra vonatkozó adatokat, amennyiben ilyenek rendelkezésre állnak.

A fenti információkhoz különféle felszíni és mélyfúrási geofizikai vizsgálati módszerekkel, a talaj különböző fizikai sajátosságainak laboratóriumi méréseivel és egyéb geológiai vizsgálati módszerekkel (pl. fúrással, árkolással, stb.) lehet hozzájutni.

Ha a kiértékelések eredménye azt mutatja, hogy a talajfolyás jelensége felléphet, a helyszínt célszerű alkalmatlannak nyilvánítani.

6.2 Lejtőstabilitási és rézsűállékonysági problémák

Valamennyi olyan természetes lejtők, mesterséges rézsűk, bevágások, feltöltések, partok, aknák és gátak stabilitását meg kell vizsgálni, amelyek a tervezett építmény biztonságát kedvezőtlenül befolyásolhatják.

Ahhoz, hogy a feltételezett S2 szintű szeizmikus események bekövetkezése esetén a lejtők és rézsűk stabilitása megfelelően kiértékelhető legyen, az alábbi adatokat célszerű összegyűjteni:

- a lejtőt, vagy a rézsűt alkotó, ezekkel szomszédos és az alattuk elhelyezkedő rétegek és képződmények méretét, eloszlását, valamint a lejtő geometriai felépítését leíró adatokat,
- sziklás lejtők esetén ezek alakjára és sajátosságaira vonatkozó részleteket (pl. ezek törési zónákkal való kapcsolatait, a sziklák orientációját és mállási viszonyait),
- a laza kőzetek (vagy sziklák) statikai és dinamikai jellemzőit,
- a talajvíz szintjét,
- a múltban esetleg bekövetkezett rézsűkárosodásra utaló adatokat.

Ezekhez az információkhoz különböző geofizikai vizsgálati módszerekkel, talajfizikai laboratóriumi mérésekkel, valamint megfelelő terepi módszerek alkalmazásával, pl. fúrások, árkok, aknák kihajtásával lehet hozzájutni.

6.3 Süllyedések és beomlások

Süllyedések lehetőségével kell számolni vastag talajvíztároló rétegek jelenléte esetén, továbbá ha szénhidrogén termelés vagy bányászati tevékenység folyik a tervezett helyszín alatt vagy környezetében. Beomlási veszéllyel kell szembenézni karsztos területeken, az ember által készített föld alatti létesítmények (pl. bányák) esetén és olyan területeken, amelyek alatt oldható anyagok kioldása miatt üregek, hézagok keletkezhetnek.

A felszín alatti üregek kimutatására elsősorban felszíni geofizikai módszereket célszerű alkalmazni, és emellett fel kell tární az adott területen valamennyi múltban és jelenben folytatott föld alatti emberi tevékenységet.

Későbbi esetleges bányászati tevékenység megállapítása céljából érdemes tájékozódni a kérdéses területen található vagy remélhető ásványi nyersanyagok előfordulásáról.

Irodalom

1. Bisztricsány, E.: Mérnökszeizmológia, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1974.
2. Bisztricsány, E., Zsiros, T.: Neotektonikai és szeizmológiai kérdések vizsgálata a Dráva völgyében. Mérnökgeológiai Szemle, 27 /1981/.

3. Coulter, H.V. Waldron, H.H, Devine, J.F.: "Seismic and geologic siting considerations for nuclear facilities", Proc. Fifth World Conf. Earthquake Engineering, Rome, Italy, Paper No. 302 /1973/.
4. Donovan, N.C., Bornstein, A.: "The problems of uncertainties in the use of seismic risk procedures", American Society of Civil Engineers, Annual meeting, San Francisco /1972/.
5. Geller, R.J.: Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes. Bull. Seism. Am. 1501-1523. /1976/.
6. Kanai, K.: "Improved empirical formula for characteristics of strong earthquake motions", Proc. Japan Earthquake Engineering Symp., Tokyo, Japan /1966/ p.1.
7. Kardeván, P.: A földrengések és előrejelzésük, Gondolat, Budapest /1980/.
8. Kerntechnischer Ausschuss, Design of nuclear power agarost seismic events, part I: Basic principles, Report KTA 2201, Kerntechnischer Ausschuss, KTA-Geschäftsstelle beim Institut für Reaktorsicherheit der Technischen Überwachungs-Vereine eV, Köln, FRG, /1975/.
9. Lomnitz, C.: Global tectonics and earthquake risk: Developments in Geotectonics 5, Elsevier /1974/.
10. Murphy, J.R., O'Brien, L.J.: Analysis of a worldwide strong motion data sample to develop an improved correlation between peak acceleration, seismic intensity and other physical parameters, Report No. NURFG--0402, Computer Sciences Corporation, for US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC /1978/.
11. O'Brien, L.J., Murphy, J.R., Laboud, J.A.: The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters, Report No. NUREG-0143, Computer Sciences Corporation, for US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC /1977/.
12. Okamoto, S.: Introduction to earthquake engineering, J.Wiley and Sons, New York /1973/.
13. Page, R.A., Boore, D.M., Joyner, W.B., Coulter, H.W.: Ground motion values for use in the seismic design of the Trans-Alaska Pipeline Systems. U.S. Department of the Interior, Washington, DC, Geological Survey, Circular 672 /1972/.
14. Safety Series, No. 50-SG-S1. Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting; A safety guide. IAEA, Vienna, 1979. (NAÜ Atomtechnikai Biztonsági Normák: A földrengések és a földrengésekkel kapcsolatos jelenségek figyelembevétele atomerőművek telepítésekor. Budapest, 1981.)
15. Sanford, A.R., Singh, S.: Minimum recording time for determining short-term seismicity from microearthquake activity, Bull. Seismol. Soc. Am. 58 /1968/ 636.
16. Schnabel, P., Seed, H.B., Accelerations in rock for earthquakes in the western United States, Bull. Seismol. Soc. Am. 63 /1973/ 501.
17. Trifunac, M.D., Brandy, A.G.: On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, Bull. Seismol. Soc. Am. 65 /1975/ 139.
18. Csák B.: Történelmi és műemlék épületek földrengés elleni védelme. Műszaki tervezés, Vol. XXXVII. No.3. (1997).
19. Kleb B., V.Nagy I., Völgyesi L., Molnár Gy., Detrekői Á.: Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésének földtani, hidrológiai - hidrogeológiai, és szeizmológiai követelményrendszere. Tanulmány, BME Építőmérnöki Kar, (1989)