

**SZÁMITÁSI ELJÁRÁS A TÖBBSZINTES ÉPÜLETEK ROMOSODÁSI
FOLYAMATÁNAK PROGNOZTIZÁLÁSÁRA ÉS A KELETKEZŐ
ROMTERHELÉSEK MEGHATÁROZÁSÁRA I.**

Dr. Veress Róbert mk. alezredes, egyetemi adjunktus
Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Műszaki tanszék

A Magyar Köztársaság új honvédelmi- és hadászati-, harcászati alapelvei szerint a lakott települések szerepe a korábbiakhoz képest jelentősen meg fog növekedni egy esetleges agressziót követő védelmi hadművelet sikeres megvívásában.

Ezen fenti ok váltotta ki a lakott települések védelemre történő előkészítését célzó műszaki biztosítási kérdések előtérbe kerülését is, melynek kapcsán kezdtünk el a Magyar Honvédség műszaki szemléltőségének kezdeményezésére a Zrínyi Miklós Katonai Akadémia műszaki tanszékén egy elméleti kutató-elemző munkát, melynek egyik fő témája a többszintes épületek hatékony erősítési berendezésének vizsgálata volt.

A vizsgálataink során olyan kérdésekre kerestük a választ, hogy egy védelmi objektum berendezése céljából kiválasztott épület mennyire felel meg a célnak, milyen védő- és rombolásokkal szembeni állóképességekkel bír; milyen kiegészítő rendszabályok (pl.: az épületszerkezetek megerősítése, tartalék kijárat-, menekülő utak berendezése, stb.) bevezetésére van szükség; az épület milyen rombolási fokáig marad alkalmas a meghatározott funkció ellátására.

Alapvető célunk az volt, hogy a különböző fokú épületrombolások (rombolódások) morfológiai, statikai és dinamikai törvényszerűségeinek elemzése útján olyan számítási eljárást dolgozzunk ki, amellyel prognosztizálhatjuk a

fokozatos rombolás során az épületben beálló változásokat, a romosodás folyamatát és a keletkező rom geometriai- és tömegparamétereit.

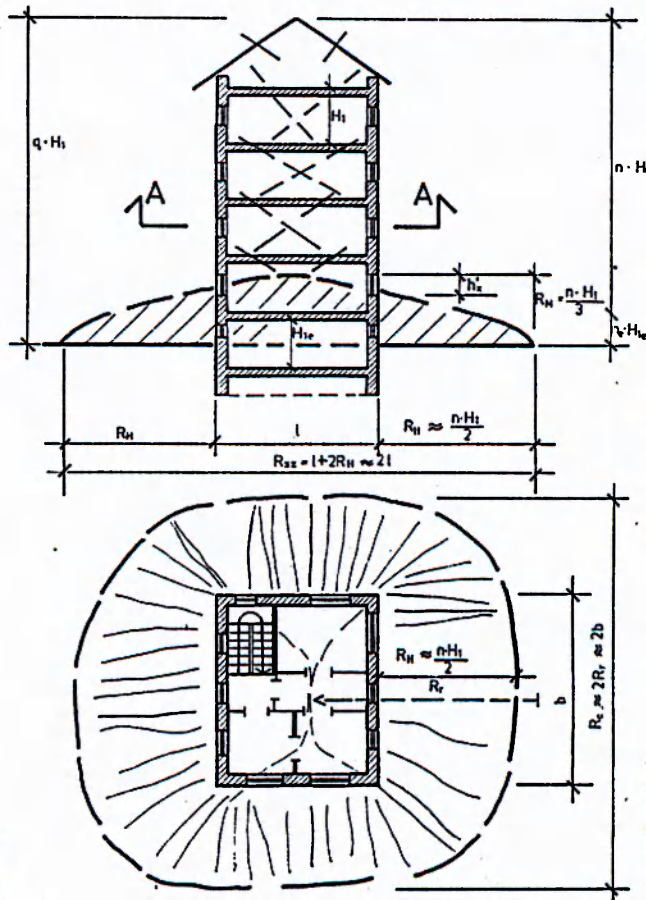
A számítási eljárás kidolgozásával - azon túlmenően, hogy az általunk fellelt irodalmak egyike sem taglalja ilyen megközelítésben az épületek statikáját és dinamikáját, így részben ezt is pótolni kívántuk - az elméleti alapját, bázisát igyekeztük megteremteni a további munkáknak.

1./ A romosodás morfológiája, a keletkező romterhek geometriai és tömeg paramétereinek meghatározásának elvi alapjai, közelítő kitételek.

a./ A romosodás morfológiája

Az elemzéseink kiinduló alapjául szolgáltak azon gyakorlati tapasztalatok melyek azt mutatták, hogy az épületek rombolódása során olyan sajátos "rom alakzat" jön létre melynek geometriai- és tömeg paramétereit az épület eredeti paramétereivel leírhatók.

A szakirodalomban közölt megfigyelések szerint az épületek rombolása (különböző katasztrófák következtében beálló rongálódása) során keletkező rom olyan alakzatot vesz fel melynek magassága az épület tengelyének vonalában a romolt szintek magasságának mintegy egyharmada, az épület határfalaitól mért szélessége pedig a romolt magasság felének felel meg. Az épület határain belül pedig az épület méreteitől és a rombolás fokától függő magasságú rom marad vissza. (1.sz. ábra)



1.sz. ábra. Rombolt épület romhatára és rommagassága

Az 1.sz. ábrán alkalmazott jelölések értelmezése:

H_1 - szintmagasság (padlószinttől - padlószintig) (m);

q - az épület számítási szintjeinek száma;

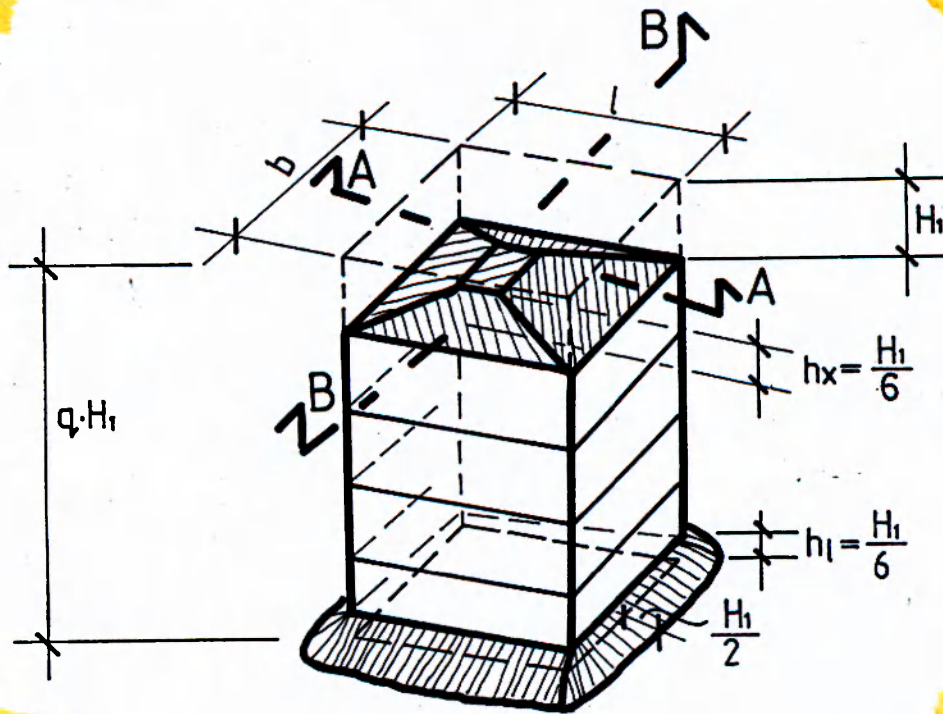
$$q = q_1 + q_T + q_P \quad (1.)$$

ahol: q_1 - a terepszint fölötti teljes szintek száma;

q_P - pince vagy szuterén: $q_P = 05$;

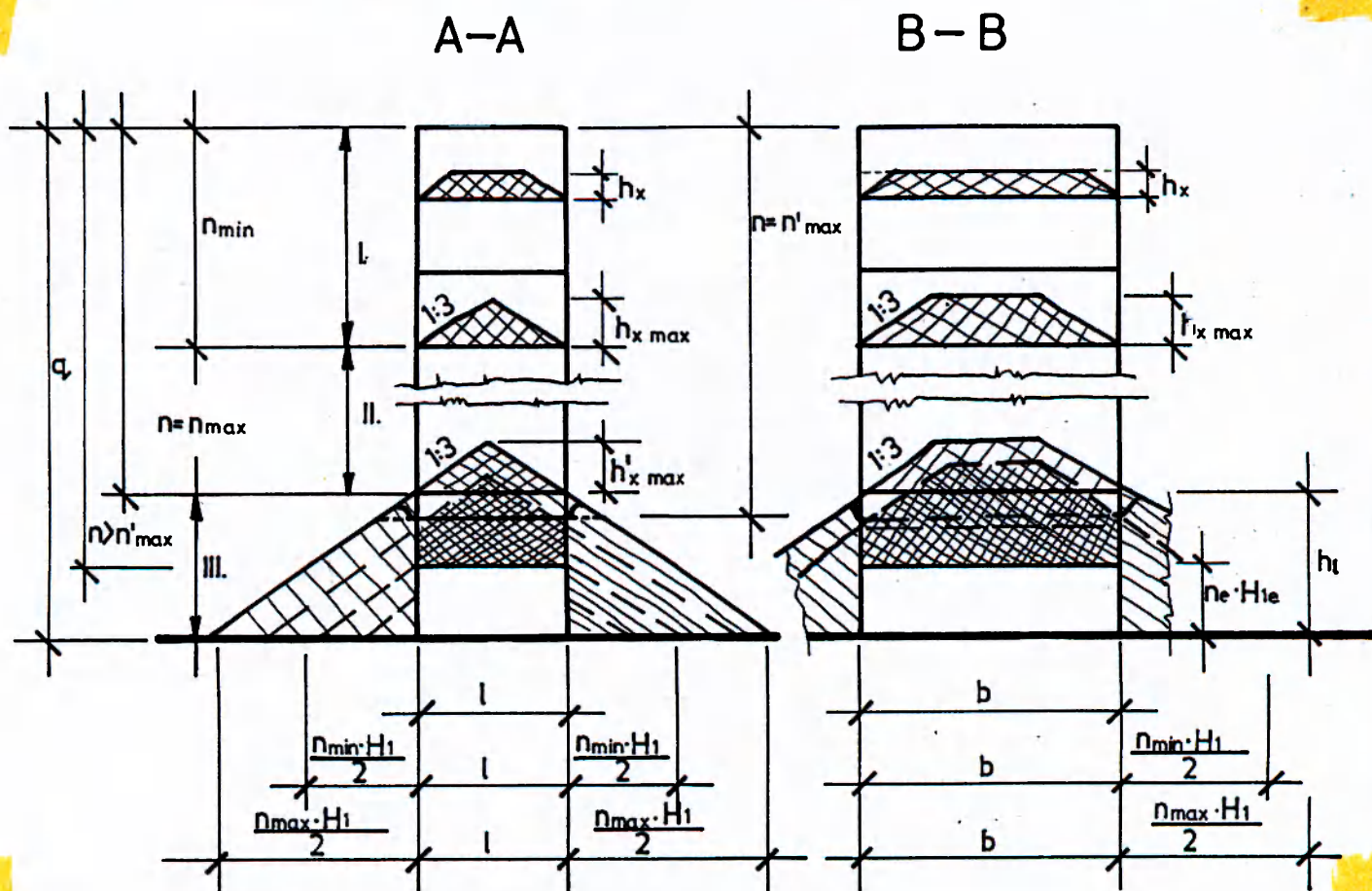
ezek hiánya esetén: $q_P = 0$;

testsűrűségű anyagok a legmélyebb pont felé törekszenek, ezért az épület köré lehulló törmelékben nagyobb lesz a nagy testsűrűségű anyagok aránya mint az ép födémre hulló és azon fennmaradó törmelékben.)



2. sz. ábra. A rom alakzatok axonometrikus képe.

Figyelembe véve, hogy a rom alakzat 1:3 meredekségű rézsűkkel alakul ki, így belátható, hogy a nem rombolt födémre jutó rom tömeg is és az épület köré lehulló rom tömeg is ilyen szabályossággal fog kialakulni (3.sz. ábra).



3.sz. ábra. Rom alakzat paraméterek, különböző rombolási esetekben.

A 3.sz. ábra alapján spekulatív úton is belátható, hogy egy "q" szint számú épület rombolása során:

- 1.) bármelyik szintet teljes mértékben romboljuk (rombolódik), a rombolt szint fölött elhelyezkedő szintek is romboltnak tekinthetők, így a rombolt szintek "n" számát felülről lefelé számolva adjuk meg (a rombolt szintet is beleszámolva);
- 2.) adott "q" szintszámú épület rombolásakor három eset különböztethető meg:
 - I. eset, amikor a rombolt szintek számának

függvényében növekszik az ép födémre jutó terhelés mind addig amíg a rombolás szintje el nem éri az " n_{min} " szintet, melynél a födémre jutó rom teher maximális lesz;

a II. esetben az ép födémre jutó rom teher az " n_{min} " rombolási szinttől egy bizonyos " n_{max} " rombolási szintig nem fog növekedni (ennél több már "nem fér el" a födémen). Az is belátható, hogy ha a rombolás foka eléri az " n_{max} " szintet, akkor a lehullott rom tömeg miatt az épület esetlegesen épen maradt szintjei nem lesznek szabadon elhagyhatóak. Ezért célszerű bevezetni az n_{max} rombolási szint fogalmát, ami alatt azt a rombolási szintet értjük, melynek rombolása esetén az épségben maradó alsó szintek legalább egy szintről - az épület köré lehulló rom tömegén keresztül - szabadon elhagyhatóak;

míg a III. esetben az " n_{max} " szintet meghaladó szintek is rombolásra kerülnek, úgy az épen maradó födémekek romterhelése újra növekedni fog, az épségben maradó szinteket pedig az épület köré lehulló rom tömege teljesen elzárja.

- 3.) romboláskor az ép födémen maradó rom tömeg " $h_{x_{max}}$ " (maximális) magassága az épület kisebbik alaprajzi "l" oldalára felírható olyan egyenlőszárú háromszög magassága lesz melynek szárjai 1:3 meredekségűek lesznek.

Megjegyzés:

A leírt rom forma kialakulása kis rombolási magasság esetén teljességgel csak a hagyományos (vagy kisblokkos) építésű- és szerkezetű épületekre lehet igaz. A nagy-paneles épületeknél ez a forma csak akkor alakulhat ki ha a tartószerkezet (felmenőfalak) panelmagasságának két- vagy többszörösét meghaladó a rombolási magasság. (A panel

szerkezetű épületek rombolásakor keletkező rom alakzatban kialakuló méret- és tömegarányok - feltételezésünk szerint - meg fognak egyezni a 1-3. sz. ábrákon illusztráltakkal. Alapvető eltérés abban lesz, hogy a törmelék nagy darabokból, esetenként egész panelekből is állhat ami a törmelék elhordását, bontását nehezíti mivel a panelek vasalása nem minden esetben fog megszakadni a rombolás során.)

b./ A romboláskor keletkező rom tömegekből adódó dinamikus és statikus terhek meghatározásának elvi alapjai

Egy "q" szintszámú épület "n" szintjének rombolásakor keletkező rom tömegéből a nem rombolt födémre jutó és az épület falai mentén körben lehulló rom tömeg részek paramétereinek meghatározását azon feltételből kiindulva végezhetjük el, hogy a rom tömegek térfogatarányosak. Így tehát ha a három rombolási eset (-fok) bármelyikéből keletkező rom tömegek terepfelületre hulló, valamint a födémre terhelő rom alakzatait ugyanazon síkkal elmetsszük, akkor az egységnyi metszetterületekhez mindkét rom alakzatban azonos tömegű rom tartozik. Vagyis egy rombolt szint szerkezeti tömege a rombolás során az ép födémre fennmaradó és a lehulló rom alakzatok metszetei területarányának megfelelően fog megoszlan.

Egy épületszint tömegén a tartószerkezet (m_T) és a födém (m_F) tömegének összegét értjük.

A tartószerkezet m_T tömegét úgy kapjuk meg, hogy a felmenő falak (függőleges tartószerkezetek) különböző szerkezeti elemeinek tömegét összegezzük.

Ugyancsak így járunk el a födém m_F tömegének meghatározásakor is.

A különböző épületszerkezetek tömegét szerkezet-katalógusokból, tömegtáblázatokból, stb. vehetjük ki vagy az egyes szerkezetek térfogatának és anyaguk

testsűrűségének ismeretében kiszámoljuk.

A tartószerkezet és földem összegzett tömegét elosztva a vizsgált szint alapterületével, megkapjuk a szint tömegéből a szint egységnyi alapterületére jutó terhelést. Az így kapott terhelés a szerkezetek össztömegéből adódó terhelés melyet ki kell egészíteni az adott épülettípusnak megfelelő hasznos terhelések tartós részével (m_c). (A hasznos terhelések tartós része az "MSz 15021/1 Magasépítési szerkezetek terhei" szabványból vehetők ki).

Igy a vizsgált szint egységnyi területére jutó terhelés:

$$\bar{m} = \frac{m_T + m_E}{A} + m_1 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3.)$$

Ez egyben egy - a felső - szint rombolásakor keletkező összes rom teherből adódó egységnyi összterhelés is.

Egy szint rombolását követően az épen maradt földemre jutó rom terhelést jelöljük a továbbiakban m_m , a lehulló rom hányadra jutó terhelést pedig m_1 jelöléssel.

Ennek alapján egy szint rombolásakor keletkező és egységnyi alapterületre jutó össz rom terhelés felírható $m = m_m + m_1$ alakban, "n" szint rombolása esetén pedig:

$$nm = nm_m + n \cdot m_1 \text{ (kN/m}^2\text{) alakba} \quad (4.)$$

A (4.) összefüggéssel tehát bármelyik, felülről számított épületszint (n) rombolásakor keletkező össz rom tömeg (rom teher) meghatározható.

Egy "n" szintszámú rombolás esetén keletkező rom teher térfogatarányos (így a rom alakzatok metszeteinek terület arányával is egyező) eloszlás kitétele alapján az alábbi aránypárok írhatók fel:

$$T_E : T_m = nm : m_m ; \quad (5.)$$

$$T_{\Delta} : T_1 = n m : m_1 ; \quad (6.)$$

$$T_1 : T_m = m_1 : m_m ; \quad (7.)$$

ahol: T_{Δ} - a teljes rom tömeg metszetterülete (m^2);

T_1 - a lehullott rom tömeg metszetterülete (m^2);

$n m$ - a teljes rom tömegből adódó egységterhelés
(kN/m^2);

m_m - az ép födémet terhelő egységnyi rom teher
(kN/m^2);

m_1 - a lehullott rom egységnyi terhe (kN/m^2).

A további elemzéseink során a rombolás három esetében a különböző romosodási fokoknak megfelelően kialakuló romtömeg geometriai és tömeg paramétereinek meghatározására szolgáló összefüggéseket vezettük le. A levezetések alapjául a morfológiai sajátosságok elemzéséből levont következtetéseink, közelítő kitételeink, valamint a rom tömegek térfogatarányos elosztását kifejező aránypárok szolgálták.

További elemzéseink célja az volt, hogy ha egy épület $(n-1)$ -ik szintjét követően rombolódik az n -ik szint is, akkor az $(n+1)$ -ik szint tartó szerkezeteit (födém, felmenő falak, pillérek, stb.) milyen dinamikus, majd statikus erőhatások érik.

Terjedelmi okokra való hivatkozással nem írjuk le sem a kiinduló statikai és dinamikai alapokat, sem az egyes végképletek levezetéseit csak az általunk kidolgozott számítási eljárás során alkalmazásra kerülő összefüggéseket ismertetjük a továbbiakban.

c./ Az épségben maradó szint tartószerkezetei dinamikusan és statikusan igénybevételeinek meghatározására szolgáló összefüggések.

Egy adott $n+1$ -ik szint tartószerkezeteinek rom teher által kiváltott statikus és dinamikusan igénybevételeinek meghatározására szolgáló számítási eljárás lényege tehát abban áll, hogy első lépésként meghatározzuk az n -ik szint födémjén keletkező rom tömegeből adódó statikus terhet, majd ezen rom tömeg $n+1$ -ik szint födémjére történő zuhanása által az $n+1$ -ik szint tartószerkezeteiben kiváltott dinamikusan igénybevételeket határozzuk meg.

A./ A rom tömegeből adódó statikus terhek meghatározása

A rombolás (romosodás) három esetében keletkező és az épségben maradt szint födémjén fennmaradó rom tömeg által kiváltott statikus terhek (m_m) meghatározására az alábbi összefüggéseket vezettük le.

I. rombolási eset

A rombolt szintek száma: $1 \leq n \leq n_{min}$

n_{min} meghatározása:

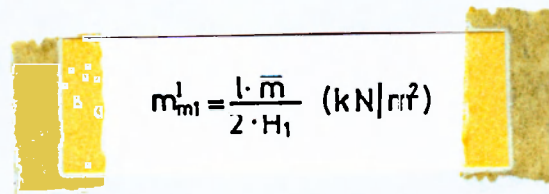
$$n_{min} = \frac{l}{H_1} \quad (8)$$

Az ép födémen fennmaradó rom tömeg terhelése:

a./ $1 \leq n_{min}$ esetén:

$$m_m^I = \frac{n \cdot \bar{m} \cdot (l - n \cdot H_1)}{l} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (9)$$

b./ $n = n_{\min}$ esetén:

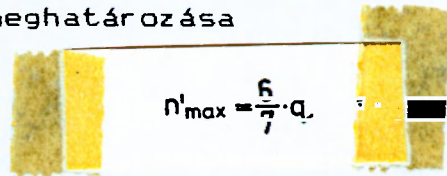


$$m_{m1}^I = \frac{l \cdot \bar{m}}{2 \cdot H_1} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (10)$$

II. rombolási eset.

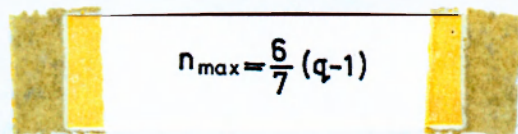
A rombolt szintek száma: $n_{\min} < n \leq n_{\max}$

n_{\max} meghatározása



$$n_{\max}^I = \frac{6}{7} \cdot q \quad (11)$$

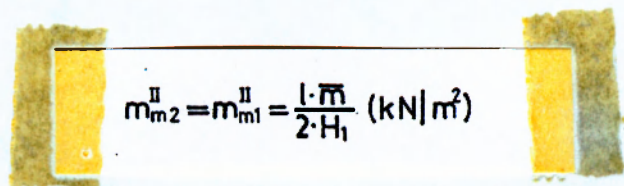
(az épület nem hagyható el szabadon)



$$n_{\max}^{II} = \frac{6}{7} (q-1) \quad (12)$$

(az épen maradt szintek legalább egy legfelső épen maradt szintől szabadon elhagyhatóak)

Az ép födémen fennmaradó romtömegeből adódó statikus terhelés:



$$m_{m2}^{II} = m_{m1}^{II} = \frac{l \cdot \bar{m}}{2 \cdot H_1} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (13)$$

III. rombolási eset:

a./ A rombolt szintek száma: $n^I = n_{\max} = \frac{6}{7} q$

(az ép szintek már nem hagyhatóak el szabadon)

Az ép födémet terhelő rom tömegből adódó statikus terhelés:

$$n \cdot m_1^{\text{III}} = \frac{6}{7} \cdot q \cdot \bar{m} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (14)$$

b./ A rombolt szintek száma: $n_{\text{max}} < n < q$

Az ép födémet terhelő rom tömeg:

$$m_{m2}^{\text{III}} = \frac{n \cdot \bar{m} \cdot (2l - n \cdot H_1)}{6 \cdot l} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (15)$$

c./ Egy $n > n_{\text{max}}$ rombolást követően utólag n_u szinteket rombolunk, így a rombolt szintek száma:

$$n_{\text{max}} < n + n_u < q$$

$$m_{m3}^{\text{III}} = \frac{n_u \cdot \bar{m} \cdot T_{m3}^{\text{III}}}{T_{m3}^{\text{III}}} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (16)$$

ahol:

$$T_{m3}^{\text{III}} = H_1 \left(\frac{2 \cdot l \cdot n \cdot n^2 \cdot H_1}{12} + \frac{n_u (6 + 29l)}{174} \right) (\text{m}^2) \quad (16.a.)$$

$$T_{m3}^{\text{III}} = l \cdot H_1 \cdot \frac{n \cdot T_{m3}^{\text{III}}}{6} \quad (\text{m}^2)$$

d./ A rombolt szintek száma: $n = q$

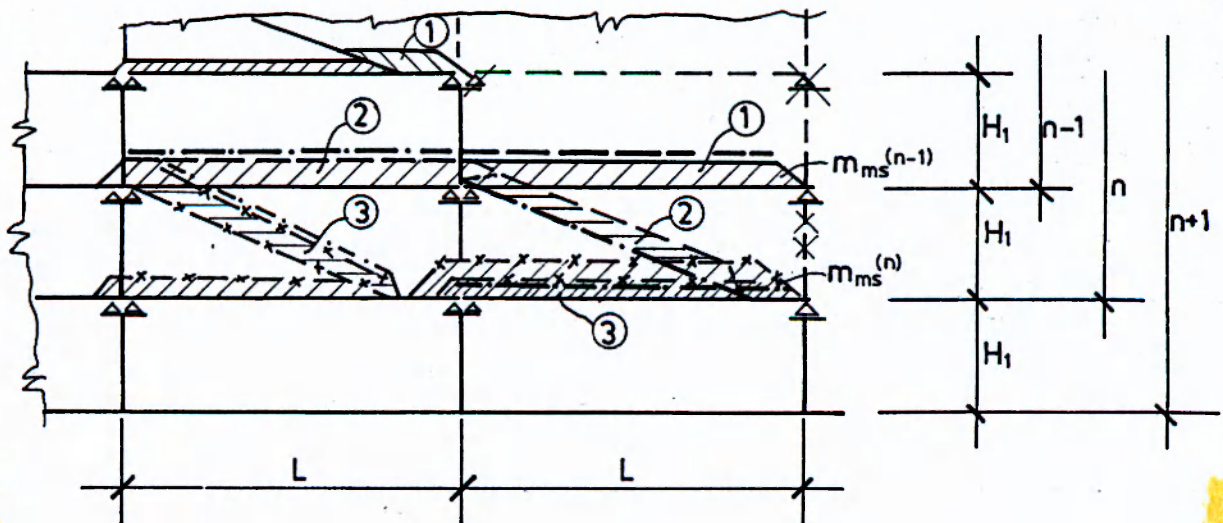
Az épségben maradó pince (szuterén) födémet terhelő rom tömeg terhelése:

$$m_{m4}^{\text{III}} = \frac{\bar{m} \cdot l \cdot (4 \cdot q \cdot H_1 - l)}{2 \cdot H_1 \cdot (q \cdot H_1 + l)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (17)$$

B. A lezuhanó rom tömegből adódó dinamikus terhelés meghatározása

Az épületek rombolódásának megfigyelési tapasztalatai azt mutatták, hogy - a földrengések és az irányított ("egytűzben" végrehajtott) robbantások eseteit kivéve - ha az épületeket egymást követő különböző intenzitású romboló hatások sorozata éri, akkor az épületek tartószerkezetei közül a födém szerkezetek támaszaiként szolgáló falak (oszlopok, pillérek) rombolódnak elsőként. Ugyanakkor ezen támasz szerkezetek rombolódása nem egyidőben megy végbe.

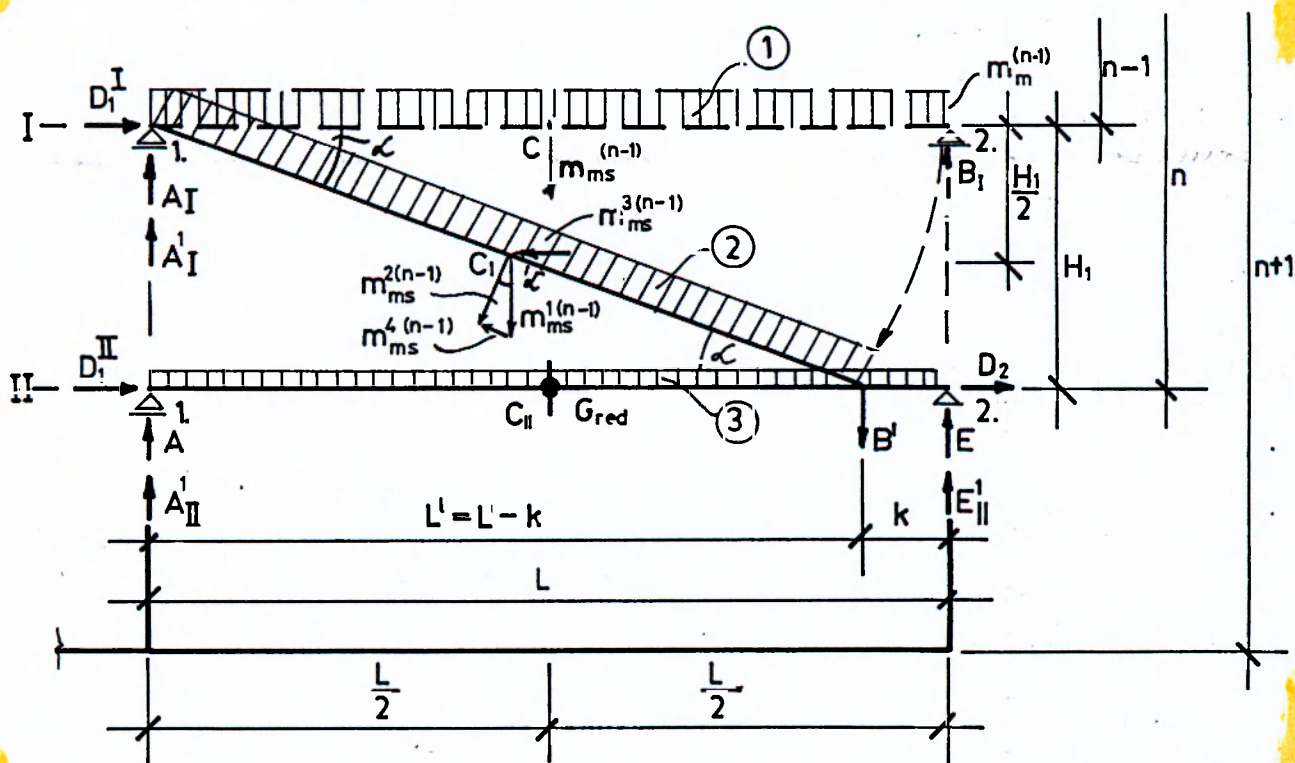
E jelenség következtében az adott támaszközre jutó tartószerkezetnek (födémnek) az elsőként rombolódó támasz felőli vége lezuhan az alatta lévő épen maradt födémre, majd vagy a további romboló hatások vagy a födém elmozdulása által kiváltott erők következtében egy bizonyos idő után a tartószerkezet másik végének is megszakad a kapcsolata a támasszal és az ép födémre fog zuhanni. (4.sz. ábra.)



4.sz. ábra. A dinamikus igénybevételt kiváltó rom teher kialakulása.

- Az ábrában: ① az $(n-1)$ -ik szint rombolásakor létrejött statikus terhelést kiváltó rom teher;
- ② a tartószerkezet lezuhanó végének helyzete az ütközéskor;
- ③ a tartószerkezet lezuhanását követő állapot.

A 4. sz. ábrán bemutatott romosodási folyamat alatt keletkező rom terhek, illetve az általuk kiváltott erők nagyságának meghatározása során még egy, a számítás egyszerűsítését és a biztonság javát szolgáló közelítésként azt feltételezzük, hogy a rombolt szint födémjén lévő rom tömeg a tartószerkezet egyik végének lezuhanása közben nem csúszik le. Azaz az ép födémrel való ütközésben a teljes $(n-1)$ számú födém rombolásakor keletkező és az n -ik szint födémjén fennmaradó (m_{ms}) rom tömeg fog részt venni.



5.sz. ábra. Statikai váz a dinamikus igénybevételt kiváltó erők meghatározásához

Megjegyzés: - a 4., 5.sz. ábrákban és a továbbiakon a rom tömegekből adódó m_{ms} terhelésekkel kapcsolatosan leírt összefüggésekben az m_{ms} indexeinek értelmezése

$\sim(n-1)$ - az $(n-1)$ -ik szint romlásakor az n -ik szint födémjén kialakult rom tömege által az n -ik szint födémjére kiváltott statikus terhelést jelöli;

$\sim 1, 2, 3, 4$ - (felső) indexek az n -ik szint romlásakor az n -ik szint födémét terhelő rom tömeg $(n+1)$ -ik födémre zuhanó hányada által kiváltott dinamikus terheléseket összetevőit jelölik.

Az 5.sz. ábrából látszik, hogy az $(n+1)$ -ik ép szint födémjének II. tartószerkezetét a zuhanás következtében a 2. támasztól "k" távolságra lévő pontban B' erő ütés hatása fogja érni. Az is belátható, hogy a B' "zuhanó" erő egyenlő az $(n-1)$ számú szintek romlásakor keletkezett és az n -ik szinten

fennmaradt rom terhelés $m_{ms}^{(n-1)}$ felével, azaz

$$B' = B_1 = \frac{1}{2} m_{ms}^{(n-1)} = \frac{1}{2} m_{ms}^{(n-1)} (\text{kN}) \quad (18.)$$

melynek H_1 magasságból való zuhanása váltja ki a dinamikus terhelést.

A "k" távolság meghatározása:

Pithagoras tétele alapján:

$$\begin{aligned} L - k &= \sqrt{L^2 - H^2} \\ k &= L - \sqrt{L^2 - H^2} \end{aligned} \quad (19.)$$

(Megjegyzés: - az n -ik szint rombolásakor keletkező és az $(n+1)$ -ik szint földmájén ebből fennmaradó rom tömeg hányad által kiváltott dinamikus terhelést nem vesszük figyelembe mivel az $(n-1)$ -ik szint lezuhanását megelőzően és a B nagyságához képest elhanyagolható tömegrészek egymásutáni lehullása váltja ki.)

C. A dinamikus erőt helyettesítő statikus erő

(B'_{stat}) meghatározása.

A erőt (levezetését nem írjuk le) az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$B'_{stat} = B' \cdot \pi^2 \sqrt{\frac{H_1 \cdot E_r \cdot J}{(B' + G_{red}) \cdot L^3}} \quad (\text{kN}) \quad (20.)$$

Az összefüggésben:

B'_{stat} - az $m_{ms}^{(n-1)}$ tömeg lezuhanása által kiváltott dinamikus (ütő) erőt helyettesítő statikus erő (kN);

E_r - a tartószerkezet rugalmassági modulusa, rövid idejű (kN/m²). (Az E_r értékeit táblázatból vesszük, vagy számoljuk);

J - a tartószerkezet tehetetlenségi nyomatéka (m⁴). (Az értékeit számoljuk vagy táblázatból vesszük.)

G_{red} - a vizsgált tartószerkezetnek megfelelő összefüggéssel meghatározott (együtt rezgő) redukált tömeg (kN);

L - az épen maradt földmájén tartószerkezetének fesztávolsága (m);

B' - a megoszló redukált erőt helyettesítő koncentrált erő.

Az n -ik szint földem tartószerkezet egyik végének lezuhanása az $(n+1)$ -ik szint földmájén kívül a támaszokat, azaz a tartó falakat az A_I, A_{II} , illetve E_{II} keletkező támaszerőkkel pluszban terheli az ütközés pillanatában.

Megjegyzés: a támaszerők (A_x, B_x, A, E, A, E) meghatározását a tartó és befogás típusának megfelelő statikai összefüggéssel kell számolni

D. A ν dinamikus tényező meghatározása (levezetés nélkül):

$$\nu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f_{stat}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{G_{red}}{G}}} \quad (21.)$$

Az összefüggésben:

ν - dinamikus tényező (dimenzió nélküli szám);
 h - esési magasság (a rombolt szintek magassága: $n+H_1$);

G_{red} - mint a (10.) összefüggésnél (kN);

$G = B^I$ - lezuhanó test súlya (kN);

f_{stat} - a statikus terhelés hatására bekövetkező alakváltozás (m).

(Az f_{stat} meghatározását statikai táblázatok tartalmazzák.)

E. A romboláskor terhelt tartószerkezetek ellenőrzése. (lásd a 4. és 5.sz. ábrákat)

Az $(n+1)$ -ik szint tartószerkezeteit " n " számú szint rombolásakor az alábbi igénybevételekre kell ellenőrizni.

1./ Az (n+1).-ik szint födémjének tartószerkezetét hajlításra:

- mértékadó terhelés a "c_u" keresztmetszetbe ható

B_{stat}^I (10. összefüggés szerint).

2./ Az (n+1).-ik szint tartó falait nyomásra és hajlításra:

- mértékadó terhelés nyomásra m_m^m :

ha $E + E' > \frac{m_{ms}^{(n)}}{2}$, akkor

$$m_m^m = E + E_1 \text{ (kN)} \quad (22.)$$

ha $E + E' \leq \frac{m_{ms}^{(n)}}{2}$, akkor

$$m_m^m = \frac{m_{ms}^{(n)}}{2} \text{ (kN)} \quad (23.)$$

mértékadó terhelés hajlításra (kihajlásra) m_m^h :

$$m_m^h = D_2^{II} = D_1^{II} \text{ (kN)} \quad (24.)$$

ahol

$$D_2^{II} = D_1^{II} = \frac{1}{2} m_{ms}^{3(r-i)} \text{ (kN)} \quad (25.)$$

Ha a tartószerkezetek ellenőrzése során nem határozzuk meg a dinamikus erőt helyettesítő statikus erőt, akkor a kiinduló statikus erőkkel (pl. B^I vagy B_1^I , stb.) meghatározott maximális nyomatékot, vagy feszültséget a ν dinamikus tényezővel szorozva vesszük figyelembe.

(A folytatás a következő számban)