

Robbantástechnika

és a hozzá tartozó segéd tudományok:

fizika, kémia és a robbantó ipar

Dr. Kis Miklós

Első könyvrész

A matematika és a fizika

A fizika feladata, vizsgálati módszerei és a vizsgálatokhoz igénybevevett segédtudományok

A fizika a természetben lejátszódó folyamatokat, változásokat és jelenségeket vizsgálja, a maga sajátos módszereivel megkísérli számszerűen is leírni, értelmezni. Mindezekhez mérési módszereket dolgoz ki, és azokat felhasználja az összefüggések felkutatásához és értelmezéséhez. A jelenségek értelmezéséhez és az összefüggések megkereséséhez gyakran a jelenséget a zavaró körülményektől kénytelen megtisztítani, lecsupaszítani és így vizsgálni, vagy gyakran az ismert jelenséget tesz újabb zavaró környezetbe, és az így kialakult változásokat figyel meg azon céllal, hogy a természetben lejátszódó összetett folyamatot viselkedésében megmagyarázza és leírja. Megoldottnak tekinti a problémát ha a jelenséget számszerű adattal, vagy általánosabb esetben matematikai összefüggéssel jellemezni tudja, mely összefüggés konkrét esetben szintén számszerű adatot szolgáltat a konkrét esetre vonatkozó paraméterek helyettesítésével.

Az elméleti fizika általában megelégszik azzal, hogy a jelenségek matematikai összefüggését megkeresse és rámutasson a matematikai összefüggés alapján várható hatásra vagy viselkedésre. A kísérleti fizika feladata, hogy a vizsgált jelenséget mérhetővé tegye, illetve a jelenség vizsgálatára mérési módszert dolgozzon ki..

A probléma megoldásához a fizika tehát a méréseken keresztül jut el. A mérés maga nem más, mint egy rendelkezésünkre álló egységhez hasonlítani azt amit mérni szeretnénk. A fizika számára ezek az egységek a következők:

hosszúság mérésre a m (méter) és ennek kisebb egységei mint a cm, mm, vagy nagyobb egységei, mint a km,

idő mérésére a másodperc (s-szekundum latin elnevezés alapján) és ennek kisebb egységei mint a ms (millisekun-dum) vagy nagyobb egységei, mint a perc és az óra,

tömeg mérésére a g (gramm) és ennek nagyobb egységei mint a kg,

az áramerősség mérésére az A (amper) és ennek kisebb egységei mint a mA (milliamper) és a μ A (mikroamper)

a feszültség mérésére a V (volt) és ennek kisebb egységei mint a mV (millivolt), vagy nagyobb egységei mint a kV (kilóvolt).

Minden más mérési eredményt a fizika ezen egységekből kialakított úgynevezett származtatott egységekkel ad meg. Ezek rendszere a mértékegység rendszer. A tudományos életben ma is használatos a CGS rendszer (centiméter-gramm-szekundum), a technikai életben azonban az úgynevezett technikai mértékegységrendszer, vagy más néven az MKSAV (méter-kilogramm-szekundum-amper-volt) rendszer használatos.

Inkább a kémiában használatos a mol elnevezés, de a fizikai fogalmak egyszerűbb megvilágításához is gyakran használják. Egy kémiai vegyület molsúlyát, az egy molt, a kémiai vegyület összetétele alapján az összetevők grammatomsúlynyi mennyiségéből lehet kiszámolni. A grammatomsúlynyi mennyiségeket a periódusos rendszer, vagy az ezalapján összeállított táblázatok tartalmazzák.

Mint az eddigiekből nyilvánvaló a fizika nagymértékben támaszkodik a matematika tudományára, mely legfontosabb segéd-tudományának tekinthető. A matematikán kívül szinte minden természettudományi ághoz kapcsolódhat, így például ismert a fizikai-kémia, vagy a biofizika, hogy csak a legismertebbeket említsük. Nem tehetjük meg, hogy a számunkra legfontosabb matematikai összefüggésekkel ne foglalkozzunk.

I. fejezet

A matematika mint a fizika segítsége

I.1. A matematika függvények

A számtan négy alapművelete az összeadás, kivonás, szorzás és az osztás. A mindennapi életben természetesen ezeket használjuk leggyakrabban a számoláshoz számok használatával. Ilyen számolási példa a következő:

$$(I.1.) \quad 2 + 3 = 5$$

A matematika, és általában a tudományok ezeket az egyszerű kifejezéseket általánosítja, így a konkrét számok helyett jeleket, leggyakrabban betűket használ, melyek ezen általánosítás miatt most már bármely szám lehet. Az előbbi esetünkben a 2 helyett a-t, a 3 helyett b-t írhatunk. Összefüggésünk eredménye sem lesz így természetesen 5, hanem helyette egy új betűt (mondjuk a c-t) kell bevezetnünk, mellyel a fenti egyenlőség általános alakja a következő lesz:

$$(I.2.) \quad a + b = c$$

Ezen esetben tehát a és b bármilyen szám lehet, ez a kettő azonban már meghatározza c értékét, tehát c függ a-tól és b-től, úgy mondjuk, hogy c függvénye a-nak és b-nek, és még további általánosítással azt írhatjuk, hogy

$$(I.3.) \quad c = f(a,b)$$

a c mennyiség függvénye a-nak és b-nek. Ez esetben most már nem szükséges a konkrét függvénykapcsolat ismerete sem. Gyakori, hogy a fizikai megfigyelések alapján feltételezzük, hogy egy mennyiség (esetünkben c) valamilyen kapcsolatban van több más változóval (a és b), és ezen feltételezést, illetve a függvény-kapcsolat pontos alakját mérésekkel vagy kísérletekkel keressük meg.

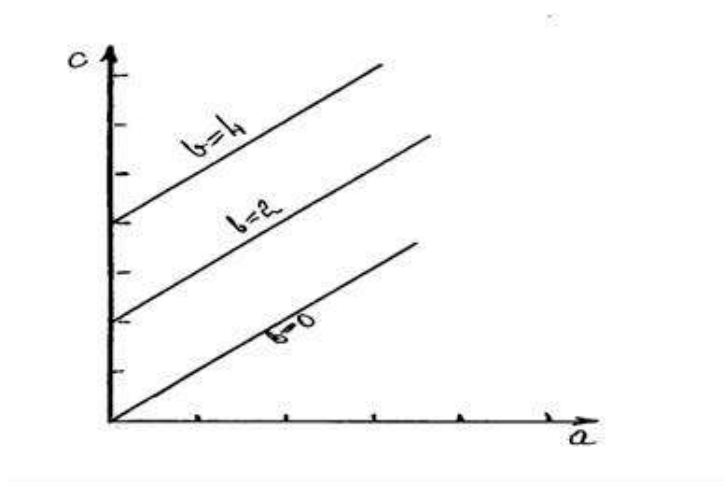
Gyakoribb eset az, és ez a technika számára fontosabb, hogy ismert a függvény alakja (például az (I.2) egyenlőség formájában), és ezt szemléletesebbé, vagy könnyebben kezelhetővé akarjuk tenni. Ezt megtehetjük úgy, hogy táblázatot állítunk össze úgy, hogy bizonyos lépésekkel változtatjuk a és b értékét és ennek megfelelően kiszámítjuk és a táblázatba írjuk c értékét, mint azt a I.1. táblázatban megtettük az (I.2.) összefüggésre.

I.1. táblázat
Az (I.2.) összefüggés szerint c értékei

a/b	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Az így összeállított táblázat haszna, hogy ha az (I.2.) összefüggés rendkívül bonyolult, nem kell hosszadalmas számításokat végeznünk, időt és fáradságot takaríthatunk meg.

Másik lehetséges mód az ábrázolás. Ilyenkor a Descartes (ejtsd: Dékárt) féle koordináta rendszerben vesszük fel az I.1. táblázatban már kiszámított adatokat úgy, mint az az I.1. ábrán látható. Ilyenkor az a és a b mennyiség közül egyiket fixnek kell elfogadni és a felvett görbéken ezt fel kell tüntetni mint paramétert. Az ábrázolás előnye egyrészt, hogy könnyen leolvashatók c értékei, másrészt pedig az, hogy bonyolult összefüggés esetén az ábrázolással szemléletessé tehető az összefüggés. A kísérleti fizika éppen ezen szemléletessége miatt előszeretettel alkalmazza a függvények ábrázolását.



I.1. ábra
az (I.2) összefüggés ábrázolása

I.2. A derékszögű háromszögek és a szögfüggvények

Ha egy derékszögű háromszög két befogója a I.2. ábra szerint a és b hosszúságú, átfogója pedig c , akkor definíció szerint az α szög tangense:

$$(I.4.) \quad \operatorname{tg}(\alpha) = \frac{a}{b},$$

az α szög kotangense:

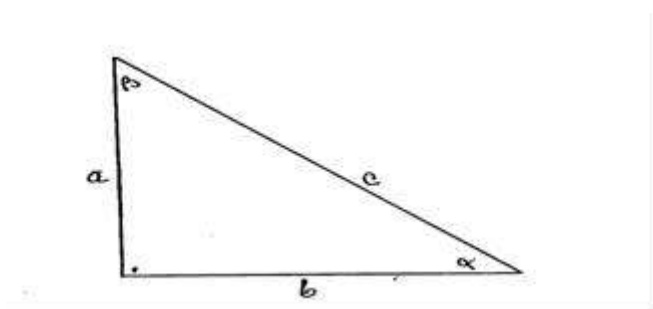
$$(I.5.) \quad \operatorname{ctg}(\alpha) = \frac{b}{a} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)},$$

az α szög szinusza:

$$(I.6.) \quad \sin(\alpha) = \frac{a}{c},$$

végül az α szög koszinusza:

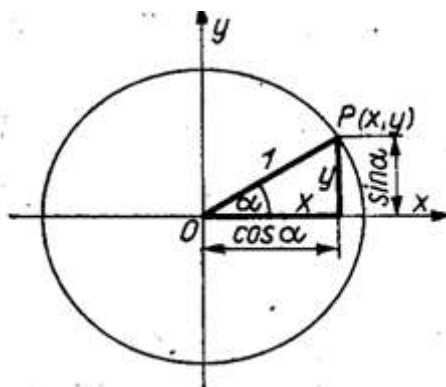
$$(I.7.) \quad \cos(\alpha) = \frac{b}{c}.$$



I.2. ábra

A derékszögű háromszög a szögfüggvények definíciójához

A I.2. ábrán lévő háromszögben az α szög természetesen csak 0^0 és 90^0 értéket vehet fel. Rajzoljuk be azonban a háromszöget egy egységsugarú körbe a I.3. ábra szerint. Ez esetben a c oldal a körív mentén körbe foroghat és az előbb definiált szögfüggvények értelmezési tartománya kibővíthető, azaz az α szög bármely értéket



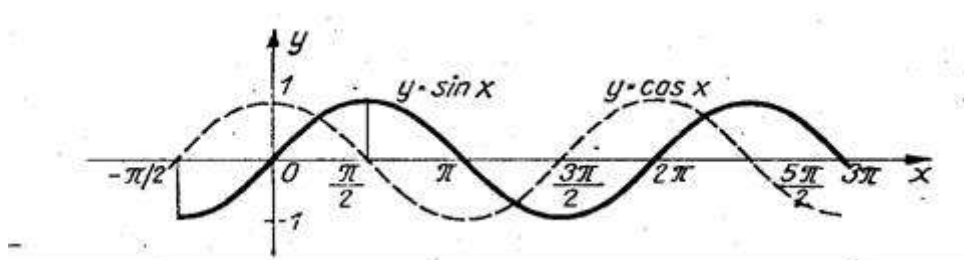
I.3. ábra

Az egységsugarú körbe rajzolt háromszög a szögfüggvények értelmezési tartományának kiterjesztéséhez

felvehet. Vegyük észre, hogy a teljes körbefordulás esetén az α szög értéke 360° , az ehhez tartozó körív hossza az egységsugar miatt 2π . A fokbeosztás helyett a tudományos és a technikai életben is ezt használjuk. Egysége az 1 radián:

$$(I.8.) \quad 1 \text{ radián} = \frac{2\pi}{360^\circ}$$

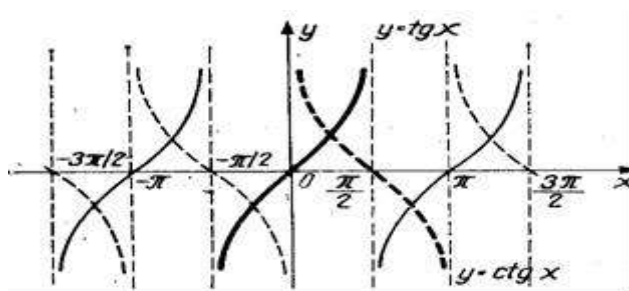
Az egységsugarú kör miatt ($c=1$) a szinusz és a koszinusz szög-függvények függvényértéke $+1$ és -1 intervallumban változhat, a tangens és a kotangens függvényeké viszont $+\infty$ és $-\infty$ között, mivel a és b nulla értéket is felvehet. Az így kibővített értelmezési tartományú szinusz és koszinusz függvények ábráit a I.4. ábrán, a



I.4. ábra

A szinusz és a koszinusz szögfüggvények ábrázolása a kiterjesztett intervallumokban

tangens és a kotangens függvény ábráját a I.5. ábrán adjuk. Vegyük

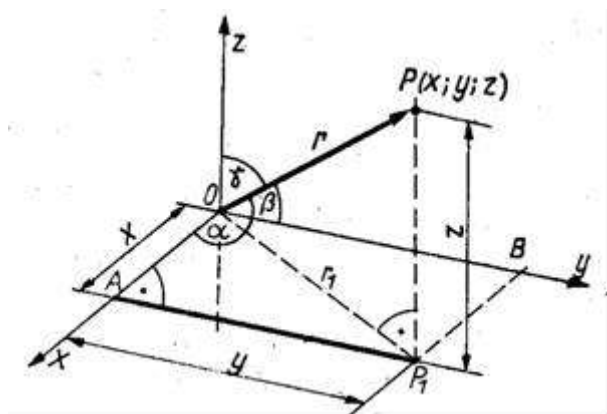


I.5. ábra

A tangens és a kotangens szögfüggvény ábrázolása a kiterjesztett intervallumokban

észre, hogy a szinusz és a koszinusz függvény 360° -ra periodikus (ismétlődik), míg a tangens és így a kotangens függvény is 180° -ra periodikus. Mind a négy függvényt a legtöbb kézikönyvben táblázatokban is megadják a $0^\circ - 90^\circ$ intervallumban. A függvényértékek a teljes 360° (2π) intervallumra a I.3. ábra segítségével határozhatók meg, és javasoljuk gyakorlásként néhány érték kikeresését. A ma használatos számítógépek excell menüi szintén lehetővé teszik ezek kikeresését és lényegesen egyszerűsödik a velük való számolás.

A függvények ilyen módon való ábrázolására a Descartes féle koordináta rendszereket használjuk. Két dimenziós mozgások esetén a függőleges irányt az y tengelyen vesszük általában fel. Szokásos a három dimenziós ábrázolás mód is, amikor a függőleges irány általában a z tengely, az x és az y tengely a vízszintes síkban van (lásd I.6. ábra).



I.6. ábra

A három dimenziójú Descartes féle koordináta rendszer

A szögfüggvényekkel való számoláskor szükség lehet néhány összefüggésre, melyeket minden bizonyítás nélkül adunk meg, így két szög összegének szinuszára és koszinuszára:

$$(I.9.) \quad \sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \beta \cdot \cos \alpha.$$

$$(I.10.) \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

Speciálisan ha $\alpha = \beta$, akkor

$$(I.11.) \quad \sin 2\alpha = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha,$$

$$(I.12.) \quad \cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

I.3. A hatványozás és a gyökvonás, a számok normál alakja

Ha egy számot önmagával kétszer, háromszor, vagy többször összeszorozunk, akkor ezt a műveletet hatványozásnak nevezzük. Ha az önmagával való szorzás kétszeres, akkor ennek neve a négyzetre emelés, ha háromszoros, akkor köbre emelés, ha négyszeres akkor a negyedik hatványra történő emelés, és így tovább. Azt a számot amit önmagával szorzunk alapnak, amely azt jelöli, hogy hányszor szoroztuk össze, kitevőnek hívjuk. Általában egy a szám n -edik hatványát a következőként jelöljük: a^n . Az a szám speciálisan 10 is lehet, mely esetben a második, harmadik, negyedik, stb. hatványok: 100, 1000, 10000, stb., azaz 10^2 ,

$10^3, 10^4$, stb.. Azonnal belátható, hogy $10^1=10$, azaz minden szám első hatványa önmaga. Folytatva a kitevők csökkentését 0-ig az 1 számot kapjuk. Általában minden szám nulladik hatványa 1. Amennyiben a kitevőket a negatív számok tartományára is kiterjesztjük, ez osztást jelöl:

$$(I.13.) \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

Speciálisan 10 hatványai esetén: $10^{-1}=0,1$; $10^{-2}=0,01$, stb..

A hatványozás ilyen módon történő jelölése azzal az előnnyel is jár, hogy ezeknek a számoknak a szorzása egyszerűsödik. Erre példa:

$$(I.14.) \quad \frac{a^n}{a^m} = a^n * a^{-m} = a^{n-m}$$

Tehát az osztás a kitevőben elvégzendő műveletre korlátozódik. Ugyanígy:

$$(I.15.) \quad a^n * a^m = a^{n+m}$$

A technikában és a tudományos életben is gyakran szükség van arra, hogy egy számhoz olyan számot keressünk amelyet önmagával szorozva az eredeti számot adja vissza. Ezt a műveletet hívjuk négyzetgyökvonásnak. Hasonló módon szükség lehet arra a számra is, melyet háromszor önmagával szorozva adja vissza az eredeti számot: ez a köbgyökvonás, és az eredeti számnak ez a köbgyöke. Ugyanígy beszélhetünk negyedik, ötödik, stb. gyökvonásról is. Ez a művelet mint belátható tulajdonképpen a hatványozás inverz művelete. A négyzetgyökvonás jelölése: $\sqrt{a}$, vagy $a^{1/2}$. Általában az n-edik gyökvonás jelölése: $\sqrt[n]{a}$, vagy $a^{1/n}$. Az $1/n$ előjele természetesen itt is lehet negatív, mely esetben mint azt a hatványozásnál is láttuk osztást kell elvégezni.

Mind a hatványozásnál, mind pedig a gyökvonásnál n értéke nem feltétlen egész szám. Ilyen esetben célszerű nagymértékben a számítógépek által nyújtott lehetőségekre támaszkodni (excel táblázatok).

A 10-es szám hatványainak használata a számok felírásában is könnyebbséget jelenthet. Ha például egy 100 és 999 közé eső számot elosztunk és megszorozunk 100-zal, azaz 10^2 -nal, akkor ha ez a szám például a 234, ezt a következő alakba írhatjuk: $2,34*10^2$. Ennek jelentősége elsősorban akkor van, ha nagyon-nagy számot kell felírni. Ekkor az előző példát tekintve úgy járunk el, hogy a nagy számot tíznek annyiadik mínusz egy hatványával osztjuk és szorozzuk ahány darab értékes szám van a tizedes vessző előtt. Az eljárásnak igen kis számok esetén is nagy jelentősége van, amikor is a kis számot tíznek annyiadik hatványával szorozzuk, és osztjuk ahányadik értékes szám szerepel a tizedesvessző után. Például $2.3*10^{-20}$ helyett olyan számot kellene írunk, amelynél a tizedes vessző utáni első értékes szám 19 darab nulla után következne. A számok ilyen módon felírt alakját nevezzük normál alaknak.

Itt kell megemlékeznünk a logaritmikus függvényekről, illetve a logaritmálásról, mint számolási eljárásról. Per definícióm: a logaritmus az a hatványkitevő,

amelyre az alapot hatványozva megkapjuk magát a számot. Amennyiben az alap a és a szám b , akkor

$$(I.16.) \quad a^{\log(a)b} = b$$

(Ezt így mondjuk: a az a alapú logaritmus b -ediken egyenlő b).

A kifejezésben a nem lehet 0. Mivel minden szám nulladik hatványa 1, az egyes szám bármely alapú logaritmus 0. Számolás-technikailag fontos szerepet játszik a tízes alapú logaritmus. Mivel $\log(10)10=1$, a normál alakban megadott számok tízes alapú logaritmus 0 és 1 közé esik. A tíz kitevőjét ez esetben a kitevő előjelének megfelelően ehhez hozzáadjuk, vagy levonjuk. Az így történő számításokat az könnyíti meg, hogy a logaritmus táblából kikeresett számmal eggyel alacsonyabb rendű műveletet kell elvégeznünk, azaz a szorzás és osztás helyett összeadást és kivonást, a hatványozás és gyökvonás helyett szorzást és osztást. Egy a szám tízes alapú logaritmusát speciálisan a következőként jelöljük: $\lg a$.

A tudományos életben és a mérnöki praxisban is nagy szerepet játszik az e alapú hatvány és hatványfüggvény, valamint az e alapú logaritmus, melynek jelölése hasonlóan a tízes alapú logaritmus jelöléséhez szintén speciális: az a szám e alapú logaritmus: $\ln a$. A teljesség kedvéért e értékét megadjuk hat tizedesjegy pontossággig: $e=2,718282$, melynek tízes alapú logaritmus: $\lg e=0,43429$. Amennyiben egy a szám e alapú logaritmusát kell kiszámítanunk azt a következő képlettel tehetjük meg:

$$(I.17.) \quad \ln a = \frac{\log a}{\log e}$$

A képletek könnyebb kezelhetősége miatt szokásos még az e alapú kitevő kiírása helyett az $\exp(x)$ kifejezés használata:

$$(I.18.) \quad e^x = \exp(x)$$

A szakkönyvek, vagy kézikönyvek általában csak a tízes alapú logaritmus táblázatot tartalmazzák.

A logaritmusos függvényeket előszeretettel alkalmazzák hatvány-függvények ábrázolása esetén amikor mindkét tengely beosztását logaritmusra készítik. Ekkor a görbe helyett egyenest kapunk az ábrázolásakor, mely számítási könnyebbségeket jelent az ábrázolt összefüggés paramétereinek meghatározásánál.

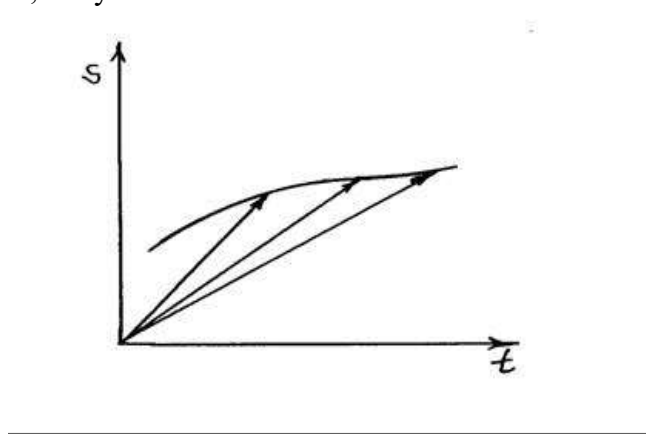
II. rész

Mechanika

A mechanika az anyagi pont vagy test mozgásával foglalkozik és nem veszi figyelembe, hogy a pontra vagy a testre hat-e valamilyen erő.

II.1. A kitérés és az út

A síkban vagy a térben jelöljük ki egy pontot és fogadjuk el ezt 0 (nulla) helyzetűnek. Ehhez a ponthoz viszonyítva egy másik pont helye a kitérés, mint az a II.1. ábrán látható. Ha ez a pont elmozdul és más helyzetet vesz fel újabb és újabb kitérést kapunk. Ha ezeknek a kitéréseknek a végpontjait összekötjük a pont útját kapjuk, melyet szintén ábrázoltunk a II.1. ábrán.



II.1. ábra
A kitérés és az út

Vegyük észre, hogy a kitérést egy iránnyal és egy hosszúsággal jellemeztük, ugyanakkor az út jellemzésére elegendő csupán a hosszúság megadása. Az olyan mennyiségeket melyet egy iránnyal és egy mérőszámmal tudunk jellemezni vektoroknak, míg azokat a mennyiségeket amelyek jellemzésére elegendő egy mérőszám skalár mennyiségnek hívunk. Ennek megfelelően a kitérés vektor, míg az út skaláris mennyiség. A vektorokat a továbbiakban a skalár mennyiségektől eltérő betű típussal jelöljük, például a vektort $\vec{A}$ -val (a szokásostól eltérő betű típussal), míg a skalár mennyiséget egyszerűen a -val, tehát a szokásos betűkkel.

Az út mérésére a m -t (a métert), illetve ennek kisebb és nagyobb mértékegységeit használjuk (km , cm , mm , stb.), számolási képletekben a jele általában s . A kitérést általában R -rel jelöljük.

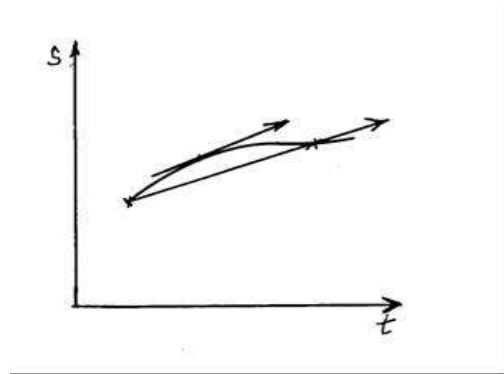
II.2. A sebesség

Ha az anyagi pont mozgásának kezdeti és végpontja között megmérjük az út s hosszát, és az ennek megtételéhez szükséges t időt is meghatározzuk akkor kiszámíthatjuk az átlag sebességet a

$$(II.1.) \quad v = \frac{s}{t}$$

képlettel. Mértékegysége a m/s (méter per szekundum), km/s, km/óra, stb.. Az átlagsebesség helyett azonban gyakran szükség van a pillanatnyi sebességre. Ekkor úgy járunk el, hogy az út szakaszait egyre jobban szűkítjük és mérjük az ehhez szükséges időt, azaz az utat és az időt is szűk intervallumokra osztjuk, melyek jelölése: Δs és Δt . A szűkítést minden határon túl folytatva az út görbéjének érintőjéhez jutunk (lásd a II.2. ábrát). Az így meghatározott érintő iránytangense a pillanatnyi sebesség, melyet differenciál hányadosnak is hívunk (ennek kiszámításához felsőbb matematikai ismeretek szükségesek):

$$(II.2.) \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$



II.2. ábra
Az átlagsebesség és a pillanatnyi sebesség

A sebesség definíciójához így két módon is eljuthatunk. Az egyik: az időegységre eső út, vagy a másik: az út idő szerinti differenciál hányadosa. A sebesség vektor mennyiség, ezért egyes számításoknál meg kell adni irányát is. Ha a sebesség állandó, akkor a sebesség ismeretében az út:

$$(II.3.) \quad s = v \cdot t + s_0$$

Ahol s_0 a pont mozgásának kiindulási helye a $t=0$ időpillanatban.

II.3. A gyorsulás

Mint az a II.2. részből is sejthető a sebesség sem mindig állandó. Definíció szerűen a gyorsulás az időegység alatti sebességváltozás, vagy másként is megfogalmazva a sebesség idő szerinti differenciál hányadosa:

$$(II.4.) \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

A gyorsulás mértékegysége a m/s^2 , vagy ennek kisebb egységei mint a cm/s^2 . Nevezetes gyorsulás a nehézségi gyorsulás, melyet g -vel jelölünk és átlagértéke földünkön $9,81 \text{ m/s}^2$. A gyorsulás szintén vektor mennyiség. Speciálisan a nehézségi gyorsulás iránya mindig a föld középpontja felé mutat.

Ha a gyorsulás állandó, akkor az út kiszámításának képlete:

$$(II.5.) \quad s = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + s_0$$

ahol v_0 a kezdeti sebesség és s_0 a kiindulási hely. A sebesség pedig:

$$(II.6.) \quad v = a \cdot t$$

II.5. A mozgások függetlensége és a vektorok komponensekre bontása a ferde hajítás példája alapján

Az $s=0$ helyről induljon el egy anyagi pont a vízszinteshez képest α szöggel és v sebességgel a II.3. ábra szerint. Az ábra alapján a v sebességet két komponensre bonthatjuk:

$$(II.7.) \quad v_x = v \cdot \sin \alpha \text{ és}$$

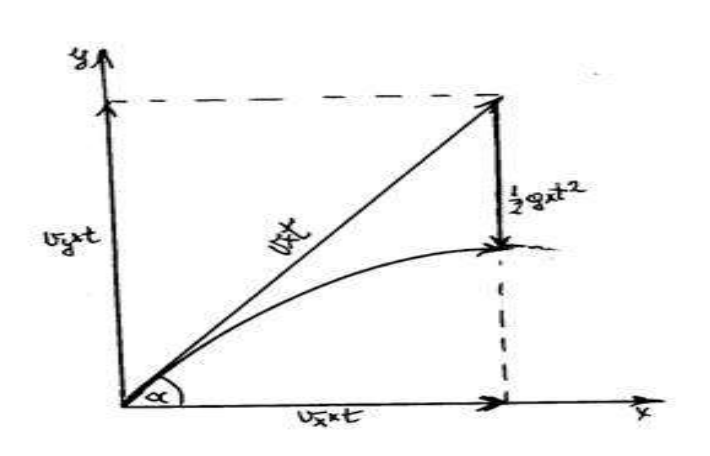
$$(II.8.) \quad v_y = v \cdot \cos \alpha$$

Az anyagi pont vízszintes irányú mozgását semmi nem folyásolja be, ezért a t idő alatt megtett út

$$(II.9.) \quad s_x = v_x \cdot t$$

A függőleges irányú mozgás azonban két összetevőből áll, a v_y sebességből és a nehézségi gyorsulásból, melynek megfelelően a függőlegesen megtett út:

$$(II.10.) \quad s_y = v_y t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$



2.3.ábra
A ferde hajítás

Az emelkedési idő kiszámításához gondoljuk meg, hogy a pont sebessége a legmagasabb helyen zérus, azaz a nehézségi gyorsulásból származó sebesség és v_y egyenlő:

$$(II.11.) \quad v_y = g \cdot t,$$

ahonnan az emelkedési idő:

$$(II.12.) \quad t = \frac{v_y}{g}$$

melyet behelyettesítve (II.10) összefüggésbe az emelkedési magasságot kapjuk:

$$(II.13.) \quad s_y = \frac{v_y^2}{g} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_y^2}{g} = \frac{v_y^2}{2g}$$

Belátható, hogy ebből a magasságból az anyagi pont ugyanekkora idő alatt esik le, ennek megfelelően a földre érési idő: $t = 2v_y/g$, melyet (II.9.)-be helyettesítve a ferde hajítás távolságát kapjuk:

$$(II.14.) \quad s_x = \frac{2v_y \cdot v_x}{g}$$

Végül v_x -t és v_y -t is helyettesítve és figyelembe véve (I.10) összefüggést is:

$$(II.15.) \quad s_x = \frac{2v^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v^2 \sin (2\alpha)}{g}$$

mivel a szinusz függvény maximális értékét az 1-t 90° -nál veszi fel, ezért a (II.15.) összefüggés akkor adja s_x -re a legnagyobb értéket, ha a hajítás iránya a vízszintessel 45° -os szöget zár be.

II.6. A szögelfordulás, a szögsebesség, a szöggyorsulás és a fordulatszám

A szögfüggvényekre vonatkozó részre visszautalva emlékezzünk arra, hogy egy körív mentén egy anyagi pont elmozdulhat. Ezt az elmozdulást hívjuk a fizikában szögelfordulásnak és α -val jelöljük. Vegyük észre az analógiát az út és a szögelfordulás között, mely alapján rögtön definiálhatjuk a szögsebességet, melyet ω -val jelölünk és a szöggyorsulást (β):

$$(II.16.) \quad \omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \frac{d\alpha}{dt},$$

$$(II.17.) \quad \beta = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt},$$

Ha a szögsebesség egyenletes, akkor

$$(II.18.) \quad \alpha = \omega \cdot t.$$

A szögelfordulást a fizikában és a technikában általában radiánban mérjük és csak ritkábban fokban. Emlékezzünk rá, hogy egy teljes körbefordulás 2π . A szögsebesség és a szöggyorsulás mértékszámát $1/s$, illetve $1/s^2$, mivel nem szokás a radiánt mint egységet kiírni. Szükség van még a periódus idő fogalmára, mely az egy körbefordulás ideje és T -vel jelöljük. Ezt a fogalmat, mint később látni fogjuk körmozgásra visszavezethető mozgások esetén is előnyösen lehet használni. A T periódusidővel az ω szögsebesség:

$$(II.19.) \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Végül megadjuk a fordulatszám definícióját is, melyre:

$$(II.20.) \quad f = \frac{1}{T}.$$

Az angol elnevezés szerint szokásos a technikában az egy percre eső fordulatszámot megadni, melynek technikai jelölése az RPM (repeat per min, azaz egy percre eső ismétlés).

III. fejezet

A dinamika

A mechanika nem tudott számot adni arról, hogy miért jön létre a mozgás, elsősorban a gyorsulás, vagy az irányváltozás. Ezt a feladatot a dinamika oldja meg. Ennek alapja a Newton törvények.

III.1. Az első Newton törvény

„Minden test megtartja nyugalmi állapotát, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, míg mozgásállapotának megváltoztatására külső hatás nem kényszeríti.”

Ebből a megfogalmazásból azonnal meg kell ismerkednünk egy új fogalommal a zárt rendszerrel, vagy más néven inercia rendszerrel. Az első törvény egyértelműen arról szól, hogy a mozgásállapot változása külső hatás miatt történhet, ezért amennyiben csupán a zárt (inercia) rendszeren belül jön létre változás, akkor ez a rendszer külső szemlélő számára úgy viselkedik, mintha semmi sem történt volna. Ennek megfelelően például ha egy fellőtt tűzijáték rakéta a levegőben robban, a szétrepülő darabok súlypontja ugyanolyan röppályán marad, mintha a robbanás meg sem történt volna. (Természetesen itt el kell tekintenünk a nagyon lényeges légellenállástól, mely szintén külső hatás).

III.2. Newton második törvénye

A törvény egy egyszerű képlet:

$$(III.1.) \quad P = m \cdot a,$$

ahol m a gyorsuló test tömege, melynek egysége a g (gramm) és a technikai mértékegységként ismert kg, a a gyorsulás, melynek egysége a m/s^2 , vagy ennek kisebb egységei. A P az erőt jelenti, melynek Newton tiszteletére külön egysége van az egy Newton: $1N = 1kg \cdot 1m/s^2$.

A mindennapi életben használt súly fogalma egy speciális erőhatás:

$$(III.2.) \quad G = m \cdot g,$$

azaz a súly nem más, mint a tömegre ható nehézségi gyorsulás miatt fellépő erő. A súly korábban használt egysége az 1 dyn ($1 \text{ gramm} \cdot 1 \text{ cm/s}^2$) és a kilópond: $1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$.

A mindennapi életben tulajdonképpen súlyt mérünk, de helyette a tömeg mértékét használjuk. Vegyük észre, hogy a testek súlya a g nehézségi gyorsulás nagyságától függ, tehát egy testre nézve nem tekinthető állandónak, ugyanakkor a test tömege független a nehézségi gyorsulástól, tehát bárhol (akár a földön kívül is) állandó. Sokáig vitatott volt, hogy a gyorsuló tömeg és a nehézkedő tömeg azonos-e. A kérdést Eötvös Loránd mérései döntötték el, mely méréseket a róla elnevezett ingával végzett el.

III.3. Newton harmadik törvénye

a hatás–ellenhatás törvénye, melyet Newton úgy fogalma-zott meg, hogy minden erőhatással szemben fellép egy vele azonos nagyságú, de ellenkező irányú erő is.

A definícióból azonnal látszik, hogy az erő is vektor mennyiség, tehát irányát és nagyságát is kell meg kell adni.

III.4. Az impulzus és Newton negyedik törvénye

Ha az erőhatás csak meghatározott ideig hat akkor

$$(III.3.) \quad I = P \cdot t = m \cdot a \cdot t = m \cdot v$$

mennyiséget kapjuk, ahol I az impulzus mennyisége. Newton negyedik törvénye szerint egy zárt rendszeren belül a az impulzus állandó. Mint azt már korábban is indokoltuk a II.1. részben a tüzi-játék esetén a fellőtt töltet súlypontja úgy mozog tova, mintha a rendszeren belül nem történt volna robbanás. Ennek a mozgásnak most újabb indoka ez a törvény.

Az impulzus ugyanúgy mint az erő vektor mennyiség.

III.5. A munka és a teljesítmény

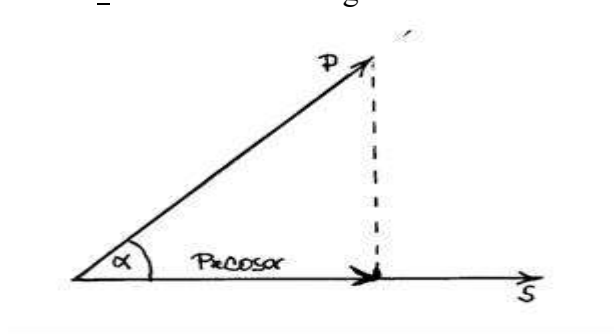
A fizikában a munka alatt az

$$(III.4.) \quad A = P \cdot s$$

mennyiséget értjük. Mivel $\underline{P}$ mint láttuk vektor mennyiség, ezért a (III.4) összefüggés is pontosításra szorul: a munka az út irányába eső erőkomponens és az út szorzata a III.1. ábra szerint, vagy másképpen:

$$(III.5.) \quad A = P \cdot \cos(\alpha) \cdot s$$

ahol α a $\underline{P}$ vektor és az $\underline{s}$ út által bezárt szög.



III.1. ábra

A munka meghatározásához tartozó ábra

A munka skalár mennyiség. CGS egysége az erg = 1 dyn * 1 cm. Korábban használt egysége az 1 kp*m. Ma használatos egysége az 1 J (joule- ejtsd: zsul). 1 J = 9,81 kp*m.

Az időegységre eső munka mennyiségét teljesítménynek nevezzük. A munka és a teljesítmény közötti kapcsolat:

$$(III.6.) \quad A = W \cdot t$$

A teljesítmény CGS egysége az erg/s, technikai egysége az 1 W (1 watt). Szokásos ennek többszörösét is használni: kW és MW. Nagyobb egysége még a LE (lóerő). 1 LE = 735,5 W. A (III.6.) összefüggés szerint a munka egységeként szokás használni a Ws (watt szekundum) egységet, vagy ennek nagyobb egységét a kWh-t (kiló Watt óra) és kisebb egységét is: mWs (milli Watt szekundum).

III.6. Az energia

Az energia munkavégző képesség. Az elnevezésből rögtön következik, hogy az energia a fizikának olyan látens mennyisége, mely akkor válik megfoghatóvá, ha

képességét hatni hagyjuk, azaz munkát végeztetünk vele. Attól függően, hogy milyen munkát tudunk elvégeztetni az energia lehet a teljes felsorolása nélkül például mechanikai - (helyzeti - és mozgási -), hő -, villamos energia.

A fizika egyik legfontosabb törvénye az energia (és anyag) megmaradás elve, melyet számos kísérlet bizonyít. Az elv csupán matematikai módszerekkel nem bizonyítható, mert a bizonyítási eljáráshoz eleve a megmaradási elvet fel kellene tételezni, ezért ezt meg sem kíséreljük.

Ebben a részben az energia fajták közül a helyzeti, vagy potenciális és a mozgási energiát említjük meg, melyek képlete a helyzeti energia esetén:

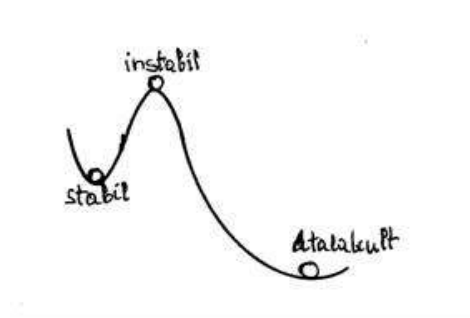
$$(III.7.) \quad E_{\text{helyzeti}} = mgh$$

ahol h az a magasság ahonnan a test leeshet, és a mozgási energia esetén a képlet:

$$(III.8.) \quad E_{\text{mozgási}} = \frac{1}{2}mv^2.$$

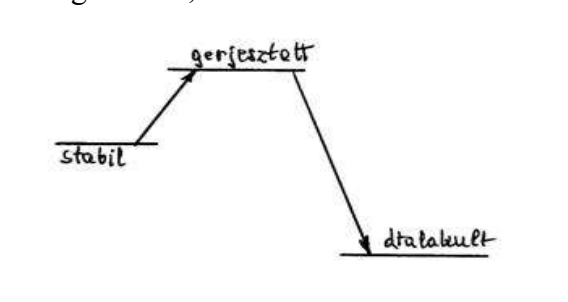
Az energia skaláris mennyiség, és dimenziója a munka dimenziójával egyezik.

Az energia nagyságát szokásos az úgy nevezett term sémával ábrázolni. Ennek alapja az az elgondolás, hogy a helyzeti energiával rendelkező test stabil állapotban egy úgynevezett potenciálkútban van, ahonnan az iniciáló energiával kell felemelni az instabil állapotba, ahonnan önként az alapállapotba kerülhet, miközben felszabadul a két szint közötti energia és munkává alakul. Ezek ábrázolását a III.2. és a III.3. ábrán láthatjuk.



III.2. ábra

A potenciális energia stabil, instabil és átalakulási fázisának ábrázolása



III.3. ábra

A III.2. ábra szerinti átalakulás term sémája

Kézikönyvekben nem szokás a term sémáknál megadni az iniciáláshoz szükséges energia nagyságát csak, a felszabadítható energia nagyságát, vagy az erre az energiára jellemző mennyiséget.

III.7. A surlódás és a közegellenállás

Egy v sebességgel mozgó testet magára hagyva folyamatosan veszít sebességéből. Ennek oka, hogy a haladási iránnyal ellentétesen erőhatás lép fel, a surlódási erő és a közegellenállás. A surlódási erő nagysága:

$$(III.9.) \quad F = \mu * G$$

ahol G a test súlya, μ a surlódási együttható, mely mint a képletből látszik azt mutatja meg, hogy a test súlyának hányadrészével húzható el. Kétféle surlódásról beszélünk a csúszó és a gördülő surlódásról. A csúszó surlódás általában jóval (esetleg nagyságrendekkel) nagyobb, mint a gördülő surlódás.

A sebességcsökkenés másik oka a közegellenállás miatt fellépő erő, mely szintén a mozgás irányával ellentétes:

$$(III.10.) \quad F = C_v * A * \rho * v^2$$

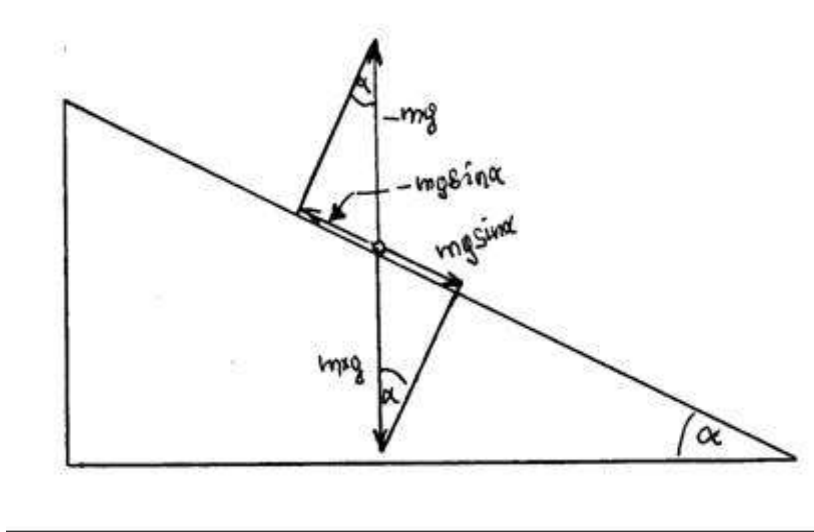
ahol A a test mozgásirányában lévő keresztmetszetének felülete, ρ a közeg sűrűsége amelyben a test halad, v a test sebessége, C_v együttható, mely azt mutatja, hogy a test mennyire „áramvonalas”. Az autógyárak ezt az értéket meg szokták adni az általuk készített autók áramvonalasságának bizonyítására. Mint az belátható a (III.9) képletben szerelő μ együttható dimenzió nélküli szám. A C_v együttható dimenziójának megállapítását gyakorlásként az olvasóra bízunk.

III.8. Az egyszerű gépek, lejtő, csavar, ék, csigasor

A gyakorlati életben gyakran nem tudunk egy meghatározott munka elvégzésére elég nagy erőt kifejteni. Ilyen esetekben az úgy-nevezett egyszerű gépek által nyújtott lehetőségeket használjuk. A III.4. ábra alapján egy G súlyú testet kívánunk h magasságba emelni, ami által a testnek mgh helyzeti energiája lesz. Nyilvánvaló, hogy egyszerűen felemelve a G súlynak megfelelő erőhatást kell kifejtenünk. Ha ehelyett a testet egy α dőlésszögű lejtő mentén mozgatjuk, az ábrából nyilvánvaló, hogy a mozgatáshoz szükséges erő csak $G * \sin \alpha$, mely, a G -nél így lényegesen kisebb lehet. Az az úthossz, amelyen az erőhatást kifejtettük: $h / \sin \alpha$, így a végzett munka:

$$(III.11.) \quad A = \frac{G * \sin \alpha * h}{\sin \alpha} = mgh .$$

Ennek megfelelően ugyanakkora munkát végeztünk, mint amekkora helyzetienergiája lett a testnek, tehát az egyszerű gépekkel erőt takaríthatunk meg, de munkát nem.



III.4. ábra

A lejtőn keletkező erőhatások és a munkavégzés útja

Mint az belátható a csavar nem más, mint egy hengerre feltekert lejtő, az ék pedig két egymással szembefordított lejtő, ezért ezek működését külön nem írjuk le. Ugyancsak az olvasóra bízunk annak igazolását, hogy a csigasorok segítségével erőt takaríthatunk meg az emelési magasság rovására.

IV. fejezet

Hőtán

IV.1. A testek kitágulása hő hatására, a hőmérséklet mérése

Ha egy rudat, vagy folyadékoszlopot hőhatásnak teszünk ki, akkor annak l_0 eredeti hossza l hosszra változik. A megváltozott hosszra a következő összefüggés érvényes:

$$(IV.1.) \quad l = l_0(1 + \alpha \Delta T),$$

ahol ΔT a hőmérséklet változás
 α a lineáris hőtágulási együttható.

A lineáris hőtágulási együttható szilárd anyagok esetén $10^{-6}/^\circ\text{C}$ nagyságrendű, folyadékok esetén ez az érték kb. két nagyságrenddel nagyobb. Kisebb hőmérsékletek mérésére a folyadékok ezen tulajdonságát hőmérséklet mérésre lehet használni. Ilyen hőmérők a higanyos és a borszeszes hőmérők.

Három irányban kiterjedő testek esetére a köbös hőtágulási együtt-hatót $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet változásra határozhatjuk meg. Nyilvánvaló, hogy ekkor

$$(IV.2.) \quad V = l_0^3 \cdot (1 + \alpha)^3 = l_0^3 \cdot (1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3) \cong l_0^3 \cdot (1 + 3\alpha)$$

mivel 3α mellett $3\alpha^2 + \alpha^3$ elhanyagolható, mert ennek értéke legalább két nagyságrenddel kisebb, ezért a köbös hőtágulási együttható, amit β -val jelölünk:

$$(IV.3.) \quad \beta = 3\alpha .$$

Ennek megfelelően egy V_0 térfogatú gáz a hőmérséklet emelkedésével

$$(IV.4.) \quad V = V_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

térfogatot vesz fel. Ha a gáz zárt edényben van, akkor a megnövekvő hőmérséklet hatására a nyomása emelkedik:

$$(IV.5.) \quad p = p_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

A köbös hőtágulási együttható gázok esetén: $1/273$.

Amennyiben egy V_0 térfogatú gázt 0°C -ról -273°C hűtünk, úgy nyilvánvaló, hogy

$$(IV.6.) \quad V = V_0 \cdot (1 - \frac{1}{273} \cdot 273) = 0 ,$$

Amiből azonnal következik, hogy 273°C hőmérsékletnél kisebb hőmérséklet nem állítható elő. Ezt a hőmérsékletet tekintjük az abszolút null pontnak, és az erre a skálára alapított hőmérsékleti skálát abszolút hőmérsékleti skálának, a fokbeosztását pedig Kelvinről elnevezve K-val jelöljük. A skála meghatározásához fix pontokat rendelnek hozzá, melyek közül kettőt említünk: a víz fagyáspontja, mely 273°K , a víz forráspontja, mely 373°K , tehát a Celziusról elnevezett skálából egyszerűen származtatható.

IV.2. A hőmennyiség

Ha egy testet hőhatásnak teszünk ki, akkor a test hőt vesz fel, felmelegszik. A felvett hőmennyiségre felírható képlet:

$$(IV.7.) \quad Q = c \cdot m \cdot (T_1 - T_2)$$

ahol c a test fajhője ($\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ egységben)

m a hőt felvevő test tömege

T_1 és T_2 a hőátadás előtti és utáni hőmérséklet.

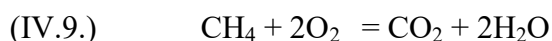
A hőmennyiség korábban de még ma is használt egysége a cal, vagy kcal, a technikai mértékegység elterjedésével azonban inkább a J (joule) használatos. A

c fajhő anyagtól függő állandó. Gázok esetén a fajhő értéke attól is függ, hogy a hőközlés állandó térfogaton, vagy állandó nyomáson történik. A két konstans c_v -vel és c_p -vel jelöljük. A kettő hányadosát külön is elnevezték. Ez az adiabatikus koeficiens:

$$(IV.8.) \quad \kappa = \frac{c_v}{c_p},$$

melynek értéke levegő esetén 1,4.

A hőmennyiség dimenziójából látszik, hogy a hőmennyiség munka jellegű mennyiség. A testek hőmérsékletének változását valóban úgy is felfoghatjuk, mint azok belső energiájának változását, és úgy magyarázzuk, hogy a hőközlés hatására a molekulák eredeti energia állapota (például a rácsrezgések kristályos anyagok esetén) megváltozik. Speciálisan egy molekulán belül egy atom kötődését egy másik, vagy több más atomhoz kötési energiának hívjuk. Ezeket a kötési energiákat az erre a célra készült kézikönyvek tartalmazzák, és ezek ismeretében egy kémiai vegyület bomlásakor felszabaduló energia (például a hőmennyiség) kiszámítható, ha felírjuk bomlási egyenletet és a hozzátartozó energia egyenletet is. Legyen itt példa a metán égése, melyre a kémiai egyenlet:



A kötési energiákra felírható egyenlet:

$$(IV.10.) \quad Q(\text{CH}_4) + 2Q(\text{O}_2) = Q(\text{CO}_2) + 2Q(\text{H}_2\text{O}) + Q_{\text{felszabaduló}}$$

Ebben az esetben a felszabaduló energia pozitív, a kémiai reakció hőtermelő. A felszabaduló energia más kémiai reakciók esetén lehet negatív is, amikor is a reakció létrejöttékor a környezet lehűl, mert onnan kénytelen hőt elvonni.

V. rész

A gáztörvények

V.1. Összefüggés a nyomás és a térfogat között

Ha egy dugattyúval lezárt V_0 térfogatú p_0 nyomású gázt a dugattyúval lassan fele, harmada negyede részére összenyomunk, a gáz nyomása kétszer, háromszor, négyszer nagyobb lesz, tehát az új V térfogatra és p nyomásra:

$$(V.1.) \quad p \cdot V = p_0 \cdot V_0$$

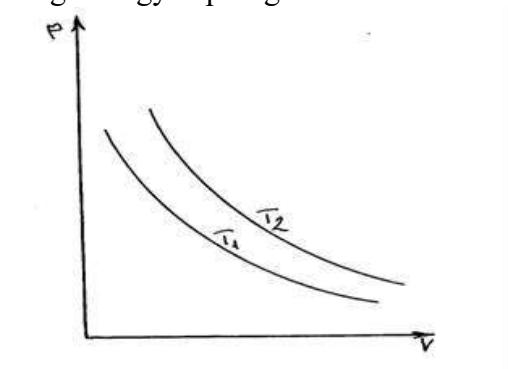
Ezt az összefüggést Boyle-Mariotte törvénynek is szokás nevezni. Mint azt az előző fejezetben láttuk az (V.1) összefüggés csak konstans hőmérsékleten igaz, ha a hőmérséklet változást is figyelembe akarjuk venni, akkor

$$(V.2.) \quad \frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}.$$

A $p_0 \cdot V_0 / T_0$ mennyiség helyett a normál állapotú gázra bevezethetjük az R állandót (ez az univerzális gázállandó, értéke: $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ J/K} \cdot \text{kmol}$), mellyel:

$$(V.6.) \quad p \cdot V = R \cdot T.$$

Az (V.6.) összefüggést az V.1. ábrán rajzoltuk fel, amelyen a T hőmérsékletet paraméterként adtuk meg. Az így kapott görbék izotermnek nevezzük.



V.1. ábra

A $p \cdot V = R \cdot T$ összefüggés ábrázolása a p - V síkon

Amennyiben a nyomás értékét konstanson tartjuk, úgy

$$(V.7.) \quad V = V_0 \cdot \frac{T}{T_0}$$

Ahol V_0 a $T_0 = 273^\circ \text{C}$ hőmérsékleten mért térfogat. Ezt az egyenletet szokás Gay-Lussac-törvénynek is nevezni.

Hasonló módon írható állandó térfogat esetén:

$$(V.8.) \quad p = p_0 \cdot \frac{T}{T_0}$$

mely a Charles-törvény. Itt p_0 a $T_0 = 273^\circ \text{C}$ -on mért nyomás értéke.

Ezeket az egyenleteket összehasonlítva a (IV.7) egyenlettel arra következtethetünk, hogy a T hőmérséklet a gázok belső energiáját meghatározzák. Valóságban ezt úgy képzeljük el, hogy a gázatomok, vagy gáz molekulák a T hőmérsékletnek megfelelően rendelkeznek valamilyen a T hőmérséklettel meghatározott v sebességgel és ennek megfelelően $m \cdot v$ impulzussal. Ezzel az impulzussal ütköznek egymáshoz, valamint a gázt tartalmazó edény falához, vagy ha az edény egy dugattyút is tartalmaz, ahhoz is. Amennyiben eléggé hosszú ideig a rendszert (az edényt, a gázt és a dugattyút) magára hagyjuk, beáll egy egyensúly, az edény fala és a gáz hőmérséklete nem

változik, a dugattyú a helyén marad. Megváltozik azonban a helyzet, ha kívülről az edényben levő gázzal hőt közlünk és így megemeljük a gáz hőmérsékletét. Amennyiben a rendszer p nyomását tarjuk állandón, úgy megnő (V.7) szerint a gáz térfogata, mely úgy lehetséges, hogy a dugattyú elmozdul, ami más szóval azt jelenti, hogy a rendszerben mechanikai munkavégzés történt. Ha a nyugalomban lévő rendszer belső energiája a hőközlés előtt Q_1 volt, a hőközlés után pedig Q_2 , akkor a rendszer által elvégezhető munka:

$$(V.9.) \quad A = Q_2 - Q_1 = c_p \cdot m \cdot (T_2 - T_1),$$

az elvégzett munka hatásfokára pedig a következő írható:

$$(V.10.) \quad \eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} < 1.$$

A két utolsó egyenletet szóban is összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a rendszerek belső energiája fordítható munkavégzésre, a rendszerből legfeljebb a belső energiáknak megfelelő munka vehető ki, melynek hatásfoka 1-nél kisebb, tehát perpetuum mobile (örök mozgó) nem létezik. Ezt a törvényt a termodinamika első főtételeként is említik.

V.2. Az ideális gázok normál állapota

A gázok eddigi tárgyalásánál szó esett a normál állapotról, mely alatt olyan gázt értünk, melynek hőmérséklete 0°C , azaz 273°K , nyomása pedig $101\,325\text{ N/m}^2$, azaz $1\text{ atm} = 760\text{ Hgmm}$. Bármely ideális gáz gramm-molekula súlynyi mennyisége ekkor $22,414\text{ l}$ (liter). Az ilyen állapotú gáz 1 cm^3 -ben a molekulák száma: $2,7 \cdot 10^{19}$ darab. A molekulák kis méretére jellemző, hogy általában csak nagyon nagy nyomások ($10^7 - 10^8\text{ atm}$,) esetén szükséges a gázok saját térfogatát is figyelembe venni. Ekkor a gáz állapotegyenlete:

$$(V.11) \quad \left(p + \frac{a}{V_0^2}\right) \cdot (V_0 - b) = R \cdot T$$

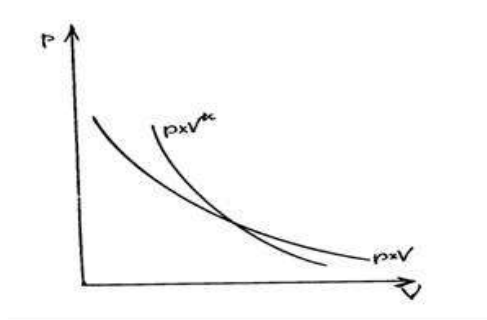
ahol V_0 az egy molnyi gáz térfogata, $\frac{a}{V_0^2}$ a molekulák közötti vonzóhatás miatt fellépő belső nyomás, b a molekulák saját térfogata miatti korrekció.

V.3. Az adiabatikus nyomás változások, a Carnot körfolyamat

Az eddigi vizsgálatokig feltételeztük, hogy a rendszerben történő változások lassan mennek végbe. Amennyiben ezeknek a változásoknak a sebessége nem végtelen lassú, úgy az (V.1) összefüggés helyett az

$$(V.12.) \quad p \cdot V^\kappa = \text{constans}$$

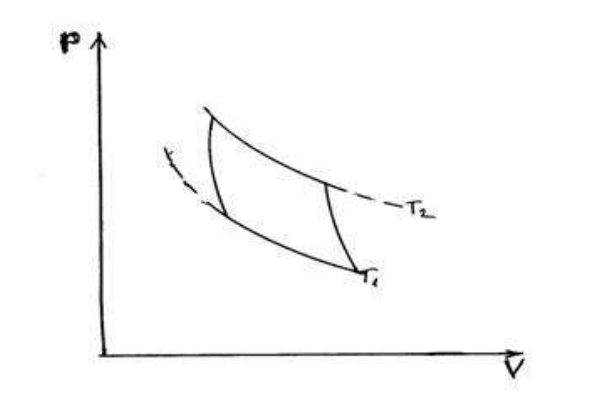
összefüggést kell írni. Ennek az összefüggésnek az ábrázolása a p - V síkon az V.2. ábrán látható.



V.2. ábra

Az (V.12.) és az (V.6.) összefüggés együttes ábrázolása a p-V síkon

Tekintsünk most egy olyan folyamatot, melynek ábrázolása az V.3. ábrán látható. Ez szerint hajtunk végre először egy izotermikus kompressziót (1. és 2. pont közötti szakasz), majd egy adiabatikus változást hőközléssel (2. és 3. pont közötti átmenet). Ezt kövesse a 3. és 4. pont közötti adiabatikus dekompresszió hőelvonással. Az itt leírt körfolyamatot Carnot-féle körfolyamatnak hívjuk. A gyakorlatban működő hőerőgépek ilyen, vagy ehhez hasonló körfolyamatok alapján működnek. Carnot kimutatta, hogy a körfolyamat hatásfoka csak a hőközlés és a hőelvonás abszolút hőmérsékletétől függ.



V.3. ábra

A Carnot-féle körfolyamat

Ez a függés a következő:

$$(V.13.) \quad \eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

V.4. Reverzibilis és irreverzibilis folyamatok, a termodinamika második főtétele

Reverzibilisnek (megfordíthatónak) nevezzük a folyamatot, ha a kiindulási állapotba környezete megváltoztatása nélkül visszatérhetünk. Ezt akkor remélhetjük megvalósulni, ha a folyamat lépései egyensúlyi állapotokon keresztül valósulnak meg. Magától értetődik, hogy irreverzibilis az a folyamat, ahol az egyes lépések nem egyensúlyi állapoton keresztül valósulnak meg, és a környezete maradandó változást szenved el.

A körfolyamatok vizsgálatánál felmerülhet az a kérdés, hogy nem hozható-e létre olyan körfolyamat, amelynél az egyes lépések reverzibilisek, ezáltal az egyes lépések nincsenek befolyással a környezetre, abban nem hoznak létre változást. Ezt a lehetőséget tulajdonképpen a jelenségek konkrét megfigyelése cáfolja azzal, hogy minden megfigyelt folyamatnál irreverzibilis folyamatok is fellépnek (például sűrűlódás, közegeellenállás) amely a környezet megváltozása miatt a folyamatból energia elvonással jár. Ennek egyenes következménye, hogy az úgynevezett másodfajú perpetuum mobile sem létezhet. Ez a termodinamika második főtétele.

A teljesség kedvéért, de minden bizonyítás nélkül itt említjük meg, hogy a termodinamika harmadik főtétele az alacsony hőmérsékletű gázokra vonatkozik, és azt mondja ki, hogy az abszolút nulla fok (0^0K) csupán megközelíthető, de el nem érhető.

VI. rész

A folyadékok

VI.1. A hidrosztatikus nyomás és Archimedes törvénye

Egy h magasságú folyadékoszlop nyomása:

$$(VI.1.) p = h \cdot \rho \cdot g$$

A folyadékoszlop nyomása minden irányban hat, és egy általunk kijelölt felületre merőleges. A folyadékoszlop nyomása nem függ csak a folyadékoszlop magasságától. Ha egy l magasságú hasábot a VI.1. ábra szerint folyadékba mártunk, akkor a hasáb vízszintes F felületein ébredő erők:

$$(VI.2.) \quad P_1 = p_1 \cdot F = h \cdot \rho \cdot g \cdot F$$

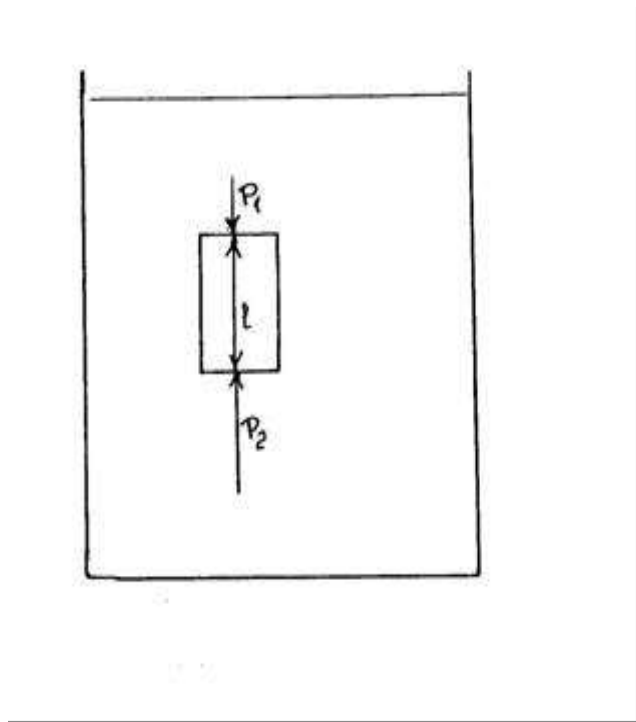
$$(VI.3.) \quad P_2 = p_2 \cdot F + mg = (h + l) \cdot \rho \cdot g \cdot F + m \cdot g$$

A két erő különbsége:

$$(VI.4.) \quad P_2 - P_1 = mg - l \cdot F \cdot \rho \cdot g$$

Mivel $l \cdot F$ a hasáb térfogata, ezért az $l \cdot F \cdot \rho \cdot g$ szorzat a hasáb által kiszorított folyadék súlya. Ezzel megfogalmazhatjuk Archimedes törvényét: minden folyadékba mártott test annyit veszít súlyából, amennyi az általa kiszorított folyadék súlya. Mivel $l \cdot F$ a hasáb térfogata, ezért az $l \cdot F \cdot \rho \cdot g$ szorzat a hasáb által kiszorított folyadék súlya. Ezzel megfogalmazhatjuk Archimedes törvényét: minden folyadékba mártott test annyit veszít súlyából, amennyi az általa kiszorított folyadék

súlya. Vegyük észre, hogy a törvény nemcsak folyadékokra, hanem gázokra is igaz, és lehetővé teszi a lebegést, melynek feltétele a (VI.4.) összefüggés alapján a $P_2 = P_1$, azaz:



VI.1 ábra
A folyadékba mártott testre ható erők

$$(VI.5.) \quad m = V \cdot \rho,$$

ahol m a lebegő test tömege, V a térfogata és ρ annak a gáznak, vagy folyadéknak a sűrűsége, amelyben a test lebeg.

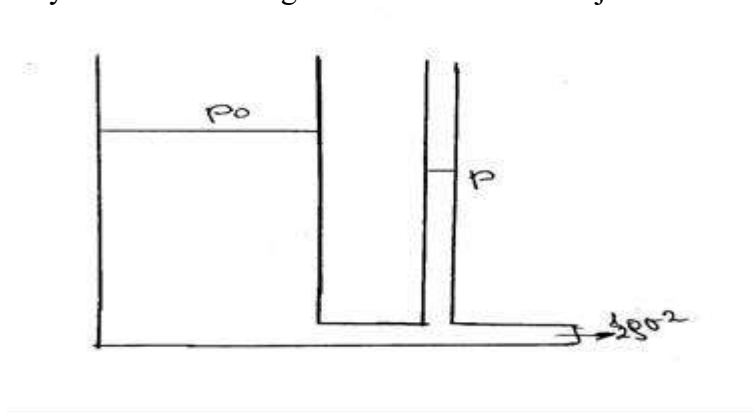
A $P_2 - P_1$ erő különbséget ha ez negatív (a test súlya kisebb mint az általa kiszorított folyadék súlya) felhajtó erőnek is szokás nevezni. Ekkor a test a folyadék felszínére törekszik, és ott úszik. Ha a folyadékba merülő test gáz, vagy gőz buborék, akkor a buborékba zárt gáz vagy gőz, mivel a buboréknak nincs szilárd fala, felveheti a hidrosztatikai nyomás értékét. Ekkor, miközben a folyadékban felfelé szál, a buborék belső nyomása, és így átmérője is folytonosan változik. Az itt elmondottak plasztikusan viselkedő szilárdnak tekintett anyagokra is igaz. Kimutatható, hogy plasztikus közetben kinyitott üreg lassú deformációja (talpduzzadás) az itt elmondottak miatt jön létre.

VI.2. Folyadékok áramlása

Egy nagy tartályból egy csövön keresztül kiáramló folyadék sebességére és nyomására a következő írható:

$$(VI.6) \quad p_0 = p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

ahol p_0 a tartályban levő folyadék nyomása, p a csőben levő nyomás és v a kifolyó folyadék sebessége. Az egyenlőség a Bernouli egyenlet. A nyomásviszonyokat és a sebességet a VI.2. ábrán ábrázoljuk.



VI.2. ábra

Egy nagy tartályból kifolyó folyadék nyomása és sebessége

Vegyük észre, hogy az egyenlőség baloldalán ha a p_0 nyomást V_0 -al szorozzuk a tartályban lévő folyadék mgh potenciális energiáját kapjuk. Ugyanezt a szorzást az egyenlőség jobboldalán V -vel való szorzással elvégezve a csőben lévő folyadék potenciális és kinetikus energiájának összegét kapjuk. Ennek megfelelően a Bernouli egyenlet nem más, mint az energia megmaradás törvényének alkalmazása áramló folyadékokra.

VII. rész

Szilárd testek

VII.1. Szilárd testek rugalmas viselkedése, nyomó és húzó szilárdság

A szilárd test viselkedését rugalmasnak tekintjük, ha a hatás elmúltával a test eredeti állapotát veszi fel, azaz ha a rajta végbemenő folyamat reverzibilis.

Ha egy l hosszúságú rúd valamilyen hatás miatt Δl nagyságú rövidülést (vagy megnyúlást) szenved el, akkor a testen feszültség keletkezik, melynek nagysága a Hooke (huk) törvény értelmében:

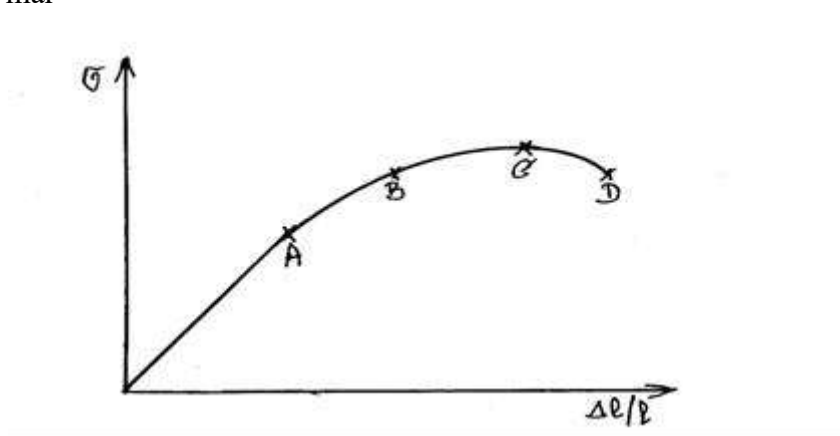
$$(VII.1.) \quad \sigma = K \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

ahol K a rugalmassági modulus. A Δl hosszúságváltozás következtében a rúd keresztmetszetében is változás következik be, melynek nagysága az eredeti d mérethez képest Δd . Ekkor:

$$(VII.2.) \quad \mu = \frac{\Delta d}{d} : \frac{\Delta l}{l}$$

ahol μ a Poisson-szám.

Ha valamely rúdban ébredő σ feszültséget a $\frac{\Delta l}{l}$ függvényében ábrázoljuk, a VII.1. ábrához jutunk. Az ábrán az A pontig érvényes a rugalmas alakváltozás, amikor az alakváltozás és a feszültség változás arányos. Az A-A' pont között a nyúlás mértéke nagyobb, mint a feszültség növekedés. Ez a rugalmassági határ. Ezután már



VII.1. ábra

Egy rúd alakváltozásának formái a feszültség függvényében

maradandó alakváltozások következnek be. A B-C szakaszban afolyáshatárt érjük el, amikor anyúlás feszültségnövekedés nélkül is bekövetkezik. Ezután érjük el a D pontot, mely a szakító szilárdság, az a feszültség érték, ahol még nem következik be a rúd szakadása.

A $\frac{\Delta l}{l}$ hosszváltozás helyett szokásos a $\frac{\Delta V}{V}$ térfogatváltozást vizsgálni. Ekkor

$$(VII.3.) \quad \sigma = K \cdot \frac{\Delta V}{V}$$

Itt K a térfogati rugalmassági modulus, melyre érvényes a következő összefüggés:

$$(VII.4.) \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}$$

ahol E a Young-modulus (jang-modulus).

A nagyobb kézikönyvek ezeket az anyagjellemzőket megadják. Ezek azonban olyan szilárd testek esetére vonatkoznak, melyek homogéneek. A bányászatban azonban ilyen homogén anyagviselkedésre számítani nem lehet, sőt a bányászati műveleteket nagyban befolyásolja a kőzetek makró struktúrája, a beágyazások, válólapok, repedések. Tovább bonyolítja az ezzel kapcsolatban kialakítható képet, hogy a rugalmassági modulusok és az anyagok tönkremenetelére vonatkozó paraméterek függenek a terhelés gyorsaságától. Igen gyors terhelések esetén (robbantás) például a szakító szilárdság lényegesen megnövekedhet.

Általánosságban megállapítható, hogy a kőzetek tönkremenetele (például a bányászkodás eredményeként) a húzószilárdság túllépése miatt következik be, mivel ez reális kőzetek esetén nagyságrenddel is kisebb lehet, mint a nyomószilárdság.

A részletesebb tárgyalásuk nélkül itt említjük meg, hogy a mérnöki gyakorlatban szükség lehet a csúszó, hajlító és csavaró rugalmas változások hasonló vizsgálatára is. Ezek közül csak a csavaró rugalmassági változásokkal foglalkozunk röviden. Egy rúd csavarási (torziós) rugalmas viselkedésére írható, hogy

$$(VII.5.) \quad \varphi = \frac{2M}{GR^4\pi}$$

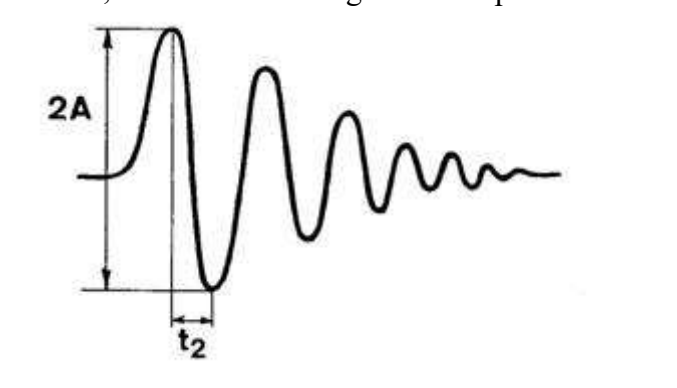
ahol φ az R sugarú rúd elfordulási szöge az M a csavarási nyomaték hatására és G a csavarási, vagy torziós együttható.

VIII. rész

Rezgések és hullámok

VIII.1. Egy lemeZRúgó mozgása egyensúlyi helyzete környezetében

Ha egy rugalmas lemezdarab végére egy ceruzát rögzítünk, kitérítjük egyensúlyi helyzetéből, és a ceruza alatt egy papírlapot húzunk el, akkor a rúgó rezgési képét vehetjük fel az idő függvényében. Ha nem túlzottan nagy a súrlódás a papír és a ceruza közt, akkor ennek a rezgésnek a képe a VIII.1. ábrán látható.



VIII.1. ábra
A lemeZRúgó által leírt rezgéskép

Ugyanilyen rezgésképhez juthatunk, ha a II.6. fejezetben leírt körforgást függőleges síkban létrehozzuk, és ennek vetületét a víz-szintesen mozgó síkban vizsgáljuk. A (II.18) képlet jelölését használva a kitérés időbeli lefolyására a következő írható, melyet rezgési kitérésnek nevezünk:

$$(VIII.1.) \quad x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

ahol ω a (II.18.) és (II.19.) összefüggéssel meghatározott szög-sebesség, φ pedig a $t=0$ időpillanatban levő szögkitérés, melynek elnevezése a rezgésstanban fázisszög. A $T=2\pi/\omega$ mennyiséget itt is periódusidőnek hívjuk. A a rezgés amplitudója, azaz a legnagyobb kitérés nagysága.

Mivel a rezgési kitérés egy periódikusan megtett út, hasonlóan a (II.2.) képlethez, itt is definiálhatjuk a rezgési sebességet, mely a differenciálás szabályait alkalmazva (VIII.1) összefüggésre:

$$(VIII.2.) \quad v = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Ugyanígy kapjuk a rezgési gyorsulást:

$$(VIII.3.) \quad a = -A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi) = -x \cdot \omega^2$$

Ha a rezgések csillapítatlan harmonikus rezgések, akkor (VIII.1) egyenletben $\varphi=0$, (VIII.2) egyenletben pedig $\varphi=\pi/2$ választható, mely választással mindkét egyenletben $\cos(\omega t)$ írható, így a két egyenletet egymással elosztva:

$$(VIII.4.) \quad \frac{x}{v} = \omega,$$

hasonló módon az előjeltől eltekintve

$$(VIII.5.) \quad \frac{x}{a} = \omega^2,$$

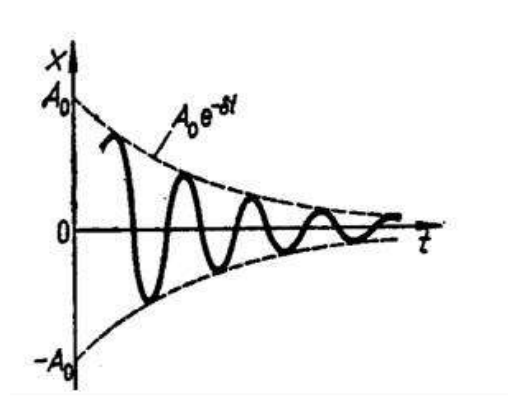
azaz a rezgési kitérés maximális értéke meghatározható ha ismert a rezgési sebesség, vagy a rezgési gyorsulás.

Mindeztideig feltételeztük, hogy a rúgó mozgására semmilyen erő nem hat, ami persze az eddigiek alapján elképzelhetetlen, ezért, ha a rúgót a kezdeti kitérés után magára hagyjuk a surlódás és a közegellenállás miatt a kitérése egyre kisebb lesz, azaz a rúgó csillapodó rezgőmozgást végez. Erre a mozgásra a jellemző a VIII.2 ábrán látható rezgéskép, az ilyen rezgéskép matematikai leírására pedig a (VIII.6.) képlet szolgál. (Itt a rezgési kitérést adjuk meg, de a képlet értelemszerűen a rezgési sebességre és a rezgési gyorsulásra is vonatkozik).

$$(VIII.6.) \quad x = \exp(-\delta t) \cdot \cos(\omega t + \varphi).$$

A képletben szereplő δ mennyiség a csillapodási együtt-ható. Kimutatható, hogy a csillapodás következtében a rezgések hullámhossza nő. A csillapodási együtt-ható meghatározására az úgynevezett logaritmikus dekrementum szolgál, melyre a következő írható, ha két egymást követő hullám $A(t)$ és $A(T+t)$ amplitudóját meghatározzuk:

$$(VIII.7) \quad \Lambda = \frac{A(T)}{A(T+t)} = \delta \cdot T.$$



VIII.2. ábra
A csillapodó rezgőmozgás

A csillapodási együttható még egy adott rezgő rendszeren belül sem feltétlen konstans, általában függ a rezgések frekvenciájától.

VIII.2. Térbeli rezgések, hullámok

Ha a végtelen tér egy pontjában létrehozunk egy olyan erőhatást, melyre:

$$(VIII.8.) \quad P = \begin{cases} 0 & \text{ha } t < 0 \\ 1 & \text{ha } t = 0 \\ 0 & \text{ha } t > 0 \end{cases}$$

akkor a végtelen térben egy minden irányban tovaterjedő rezgőmozgást jön létre a VIII.3. ábra szerint.



VIII.3. ábra
Egy kiszemelt anyagi pont elmozdulása a végtelen térben

A felsőbb matematikai ismeretekkel rendelkező mérnök olvasók részére a teljesség kedvéért megadjuk még a következőket. A matematika egyik tétele szerint az előbb definiált P erőhatás felírható a φ skalár és az A vektor potenciálokkal, melyre

$$(VIII.9.) \quad P = \text{grad}\varphi + \text{rot}A$$

További matematikai átalakítással (rotáció képzéssel):

$$(VIII.10.) \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = \frac{1}{c_l^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

$$(VIII.11.) \quad \frac{\partial^2 \mathcal{A}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{A}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathcal{A}}{\partial z^2} = \frac{1}{c_{tr}^2} \frac{\partial^2 \mathcal{A}}{\partial t^2}$$

két parciális differenciálegyenletet kapunk, melyek közül (VIII.10.) egyenlet a longitudinális hullámokra, míg (VIII.11.) a tranzverzális hullámokra vonatkozik. Szokás a longitudinális hullámokat kompressziós hullámoknak, a tranzverzális hullámokat rotációs hullámoknak is nevezni. Az ilyen elnevezést az indokolja, hogy kompressziós hullámok esetén a hullám haladási irányában az anyag összenyomódik és tágul váltakozva, míg a rotációs hullámok esetén a haladási irányra merőleges síkban egy kiszemelt pont forgómozgást végez.

A két összefüggésben c_l és c_{tr} a kétféle hullám terjedési sebessége, melyekre:

$$(VIII.12.) \quad c_{tr} = \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{\rho}}$$

$$(VIII.13.) \quad c_l = \frac{\sqrt{E}}{\sqrt{\rho}} * \frac{\sqrt{1-\mu}}{\sqrt{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

ahol G a torziós modulus, E a young modulus és μ a Poisson szám. A két utóbbi összefüggésből nyilvánvaló, hogy folyadékokban és gázokban a torziós modulus nem létezik, ezért tranzverzális (rotációs) hullám csak szilárd testben keletkezik. Folyadékok esetén a hullám terjedési sebességére (VIII.13.) helyett a következő írható:

$$(VIII.14.) \quad c = \frac{K}{\sqrt{\rho}}$$

ahol K a térfogati rugalmassági modulus. Gázok esetén a $K=\kappa \cdot p$ helyettesítéssel:

$$(VIII.15.) \quad c = \frac{\sqrt{\kappa p}}{\sqrt{\rho}}$$

VIII.3. A hullámeqyenlet megoldásai

A (VIII.10.) és a (VIII.11.) egyenlet egy lehetséges megoldása, amiről kétszeres parciális differenciálással és behelyettesítéssel győződhetünk meg, a következő:

$$(VIII.16.) \quad F = f(R - c \cdot t) + f(R + c \cdot t)$$

ahol R a kiszemelt pont távolsága a rezgés keletkezési helyétől. Ez a megoldás a Huygens elvet tartalmazza, mely szerint a tér egy hullám által átjárt felülete újabb hullámok kiindulás, és ezek szuperpozícióját tudjuk érzékelni. Ez azt is jelenti, hogy minden egyes hullám a többitől függetlenül terjed a közegben – ez a hullámok szuperpozíciójának elve.

Mint azt láttuk a rezgések szinuszos és koszinuszos függvényekkel írhatók le, ezért a tér egy kiszemelt, hullámokkal átjárt felületére érvényes a következő összefüggés is:

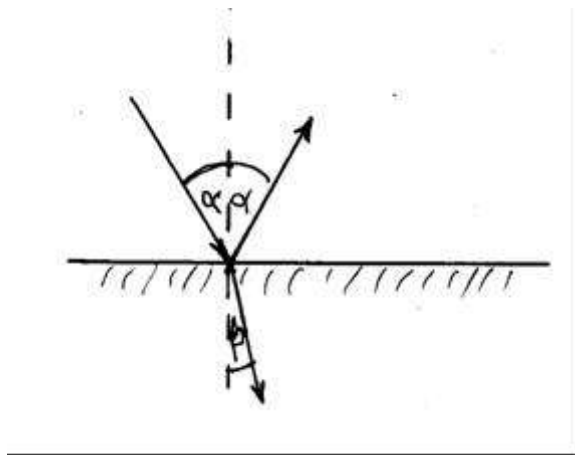
$$(VIII.17.) \quad F(t) = \sum_{i,j=1}^{\infty} \exp(-\alpha_{i,j}t) * [A_i \sin(\omega_i t) + B_j \cos(\omega_j t)]$$

ahol a már korábban definiált mennyiségek mellett az A_i és a B_j mennyiségek meghatározásával a rezgés spektrumát vehetjük fel.

VIII.4. A térbeli hullámok viselkedése két réteg határán

Amennyiben a térbeli hullámok olyan rétegeken haladnak át, amelyekben a hullám terjedési sebessége különböző, úgy a hullám egyrésze visszaverődik és csak a megmaradó rész hatol be a másik rétegbe, mint az a VIII.4. ábrán látható. A beeső és az átjutó hullám szögére érvényes a következő összefüggés:

$$(VIII.7.) \quad \Lambda = \frac{A(t)}{A(T+t)} = \delta * T.$$



VIII.4. ábra
A réteghatáron átjutó és visszaverődő hullám

$$(VIII.18.) \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_i}{c_r} = n_{21},$$

ahol n_{12} a második közegnek az első közegre vonatkoztatott törésmutatója. Minden bizonyítás nélkül megadjuk a visszaverődő és az áteső hullámok amplitudóját a következőkben. A visszaverődő hullám amplitudójára:

$$(VIII.19.) \quad A_v = \frac{\rho_2 c_2 i - \rho_1 c_1 \cos r}{\rho_2 c_2 \cos i + \rho_1 c_1 \cos r} * A$$

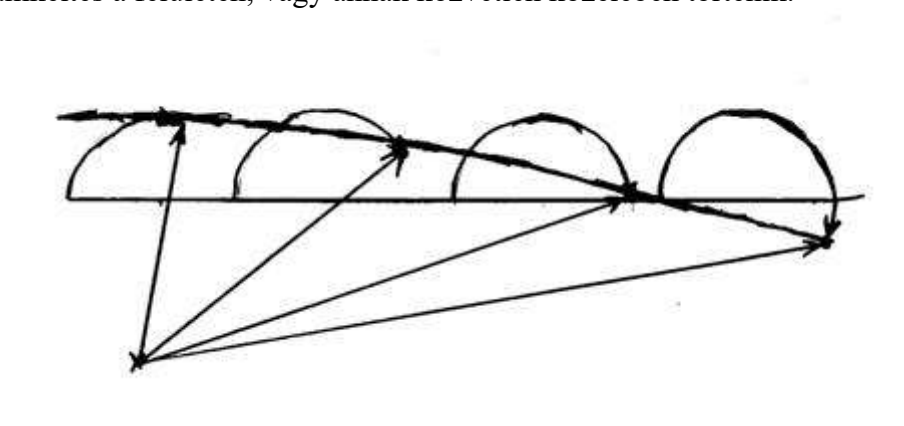
Az áteső hullám amplitudójára:

$$(VIII.20.) \quad A_a = \frac{2 * \rho_1 c_2 \cos i}{\rho_2 c_2 \cos i + \rho_1 c_1 \cos r} * A .$$

Ezeknek az összefüggéseknek a szeizmikus rétegekutatásnál van jelentősége, ahol a robbantással, vagy más úton keltett hullámok visszaverődéséből a felszín alatti rétegek elhelyezkedésére következtetnek, mely támpont lehet a szénhidrogéneket tároló rétegek jelenlétére és feltárására.

VIII.5. A felületi hullámok

Ha a (VIII.8) erőhatással létrehozott térbeli hullám a végtelen féltér felületére kifut, akkor a felületen ennek hatására egy-egy kiszemelt pont olyan mozgást ír le, mint az a VIII.5. ábrán látható. Ennek a mozgásnak a burkológörbét tudjuk érzékelni a Huygens elvnek megfelelően. Ezt a burkológörbét is megrajzoltunk. Az ábra alapján belátható, hogy az így keletkező felületi hullámok hullámhossza nagyobb, mint a térbeli hullámok hullámhossza. Általában igaz ez akkor is, ha a hullámkeltés a felületen, vagy annak közvetlen közelében történik.



VIII.5. ábra

A felületi hullámok keletkezése a térbeli hullámok felületre érkezésével

A felületi hullámokra is érvényesek a (VIII.16) és (VIII.17) megoldások. A hullámok terjedési sebessége azonban lényegesen kisebb, mint a térbeli kompressziós és rotációs hullámok terjedési sebessége. Ezek a hullámok általában az úgynevezett Rayleigh hullámok, melyekre jellemző, hogy a rezgések amplitúdója a felülettől való távolsággal exponenciálisan csökken.

A robbantástechnikában a felületi hullámok rezgési sebességének meghatározására törekednek, melynek résszint mérés technikai okai vannak, másrészt pedig a robbantást végzőket az érdekli, hogy a robbantással keltett

hullámban milyen energia terjed tovább. Ennek meghatározására az R távolság esetén az

$$(VIII.21.) \quad E_{\text{szeizmikus}} = 4\pi R^2 \cdot \rho \cdot c \cdot \int_0^\infty v^2(t) dt$$

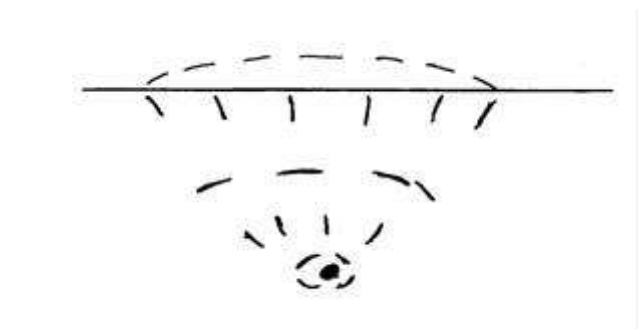
integrál szolgál, ahol a v rezgési sebességkomponensek helyett az eredő rezgési sebességgel szokás számolni, melyre

$$(VIII.22.) \quad v_{\text{eredő}} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

A rezgési sebesség mérésére használt mai modern műszerek általában a három rezgési sebesség komponens mellett az eredő rezgési sebességet is regisztrálják.

VIII.6. Nagy erejű lökések, lökeshullámok

A rezgéskeltésre vonatkozó (VIII.8) képletben hallgatólagosan feltételeztük, hogy a rezgéskeltés és az azt követő folyamatok reverzibilisek, így a (VIII.12) és a (VIII.13) képlet is olyan rezgések terjedésére vonatkozik, amelyek reverzibilisek. A gyakorlatban azonban a rezgéskeltések nagy része nem reverzibilis. A bányászati robbantásoknál (ide értve a szeizmikus kutatásokat is) a rezgéskeltés környezetében a nagy nyomások miatt való elmozdulások következményeként a kőzetben ébredő húzó-feszültségek átlépik a kőzet húzószilárdságát, aminek következménye a kialakuló repedésrendszer és a kőzet tönkremenetele ezen tartományban. Ha ez a nagynyomású rezgéskeltés a szabadfelülethez közel van, akkor a repedésrendszer a VIII.6. ábra szerinti lesz, sőt a repedések összeérése esetén a kőzet kivetése is megtörténhet. A repedések kialakulásának sebessége, a repedések



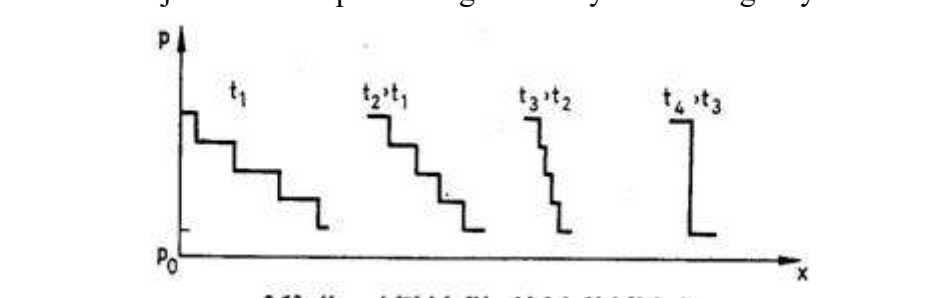
VIII.6. ábra

A nagy erőhatásokra létrejövő repedésrendszer a szabadfelület közelében

terjedési sebessége erősen függ a ható erő nagyságától, ezért csak közelítőleg lehet megadni, nagyjából fele – harmada a kőzetben terjedő kompressziós hullám sebességének.

A nagy erőhatással létrehozott irreverzibilis változások közül különösen jelentős szerepet kell tulajdonítani a robbanóanyagban létrehozott hullámkeltésnek, amely a robbanóanyag iniciálását is jelenti. A gázzárványokat is tartalmazó por alakú, vagy plasztikus (emulziós robbanóanyagok) robbanóanyagban lévő gázzárványban akkora adiabatikus nyomásnövekedést kell létrehozni (lásd

(V.12) képlet), hogy az adiabatikus változás miatt a robbanóanyag a gázzárvány hőmérséklete elegendő legyen a kémiai reakciók beindulásához. Az ezt követő reakciónak képesnek kell lenni az adiabatikus hullám tovaterjedésének fenntartásához, azaz a robbanóanyagban egy lökeshullám létrehozásához és fenntartásához. Az eddigi ábrázolásokat tekintve ez a folyamat a VIII.7.a, b, és c ábrán követhető. A robbanóanyagban így kialakult lökeshullám terjedési sebessége a detonáció sebesség. Vegyük észre, hogy a detonációs hullám kialakulásában jelentős szerepe van a gázzárványok eredeti gáznyomásának.



VIII.7. ábra
A lökeshullám kialakulása

A túlzottan nagy gáznyomás, amely kialakulhat azért, mert a robbanóanyagot túlzottan összepréseltük, vagy a túl hosszú töltetoszlop miatt a gázzárvány a töltetoszlop hidrosztatikus nyomását felveszi, nem teszi lehetővé a nyomás kellő mértékű emelését és ezzel egyidejűleg a hőmérséklet emelkedését sem, következésként a robbanóanyag detonációja vagy leáll, vagy el sem indul.

Folyékony, vagy szilárd halmazállapotú robbanóanyagok esetén az indító erőhatásnak akkorának kell lenni, hogy a robbanóanyagban gőzbuborékok keletkezzenek (ezt kavitációnak hívjuk), melyek átveszik a gázzárványok szerepét. Az ilyen robbanóanyagok indítása eléggé nehéz (lásd például: öntött TNT).

Mint láttuk a lökeshullámok irreverzibilis változásokat képesek létrehozni, mely egyértelmű azzal, hogy a lökeshullám a környezetében munkát végez, ezért az ilyen hullámok csillapodási tényezője nagy. Ez utóbbi egyértelműen azt is takarja, hogy ha energiájának fenntartásához nincs pótlása, viszonylag hamar csak reverzibilis folyamatokat képes létrehozni, azaz a hullám akusztikussá válik. Szilárd anyagok esetén ez a távolság körülbelül a töltetátmérő hatvan – hetvenszerese, folyadékok esetén, mivel a K térfogati kompressziós együttható nagy, ez a távolság jóval nagyobb. A vízben terjedő lökeshullám csúcshatására érvényes képlet:

$$(VIII.23.) \quad p = 53,7 * \frac{Q^{1,13}}{R^{1/3}}$$

Ugyanezen összefüggés levegőben terjedő lökeshullámra sík talaj esetén jó közelítéssel a következő:

$$(VIII.24.) \quad p = k * \frac{Q^{0,6}}{R^{1,5}}$$

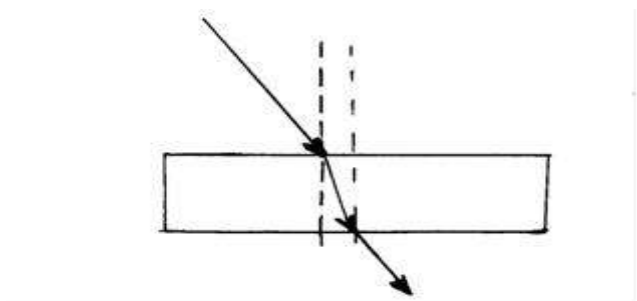
Szilárd testben robbanóanyaggal létrehozott lökeshullám esetén szokás definiálni a hullámimpedanciát (hullám ellenállást), mely robbanóanyag esetén $\rho_r \cdot D$, ahol ρ_r a robbanóanyag sűrűsége, D pedig a detonációs sebessége. Ugyanez a szilárd testre vonatkoztatva: $\rho \cdot c$, ahol ρ a szilárd test sűrűsége, c pedig a szilárd testben terjedő hullám terjedési sebessége. A kettő hányadosa az illesztési tényező: $\rho_r \cdot D / \rho \cdot c$. Ez a szám minél jobban közelít az 1-hez, a robbanóanyagban keletkező detonációs hullám annál jobban be tud hatolni a szilárd anyagba. Ez indokolja azt, hogy a nagyon kemény közetek (amelyekben a terjedési sebesség is nagy) robbantásához nagy detonációs sebességű robbanóanyagot választva érünk el jó eredményt.

IX. rész

Optika

IX.1. A plánparallel lemez és a prizma

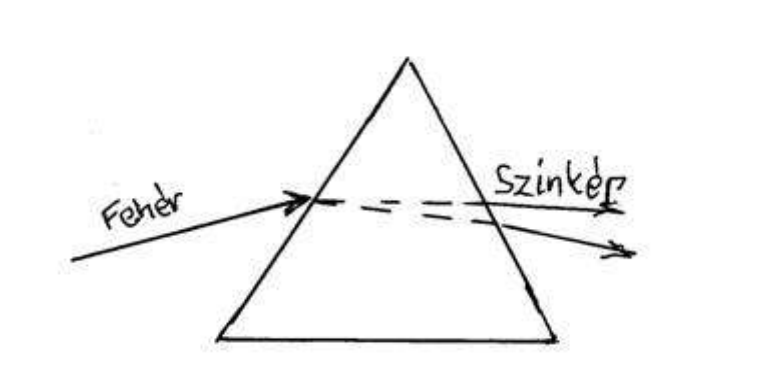
Ha a ferdén beeső fénysugár optikailag sűrűbb közegbe jut a fény a beesési merőlegeshez törik, optikailag ritkább anyag esetén pedig a beesési merőlegetől törik. Plánparallel lemez esetén a IX.1. ábra szerint a lemezen való áthaladás esetén a fénysugár iránya nem változik, csupán eltolódik, a fény nem bomlik színekre. Prizma



IX.1. ábra
A fénysugár áthaladása plánparallel lemezen

esetén a fénysugár iránya változik. Mivel a törésmutató függ a fény színétől, ha a beeső fény nem monokromatikus a prizma a fényt színeire bontja. Ezt a jelenséget anyagvizsgálatoknál használják ki.

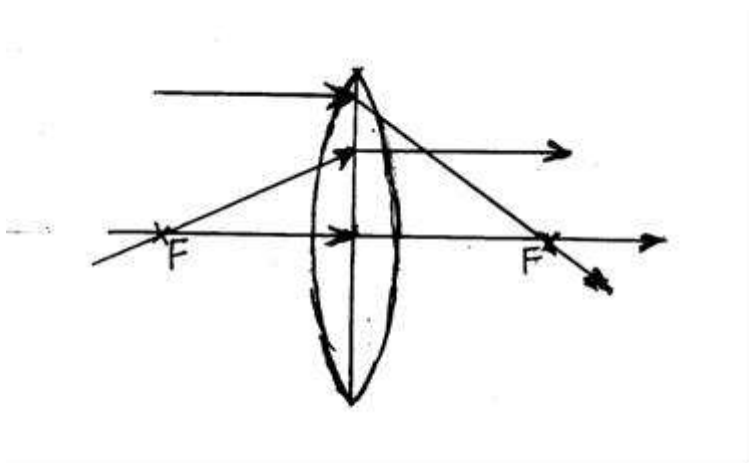
Nem háromszögletű prizma esetén megvalósítható, hogy színbontás ne jöjjön létre csak eltolódás (például a pentaprizma).



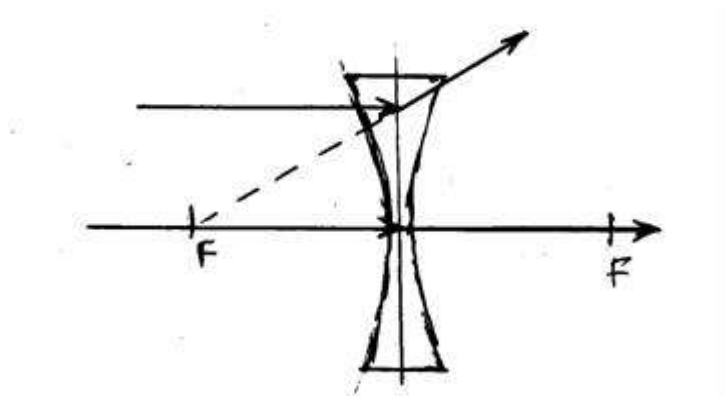
IX.2. ábra
A fénysugár áthaladása prizmán

IX.2. A lencsék

Ha a fény R sugarú gömbfelületen halad át a IX.3. és a IX.4. ábra szerint, akkor az optikai eszközt lencsének hívjuk. Az ábra szerint a fénynyaláb szögére érvényes a következő összefüggés:



IX.3. ábra
A fénysugár áthaladása domború lencsén



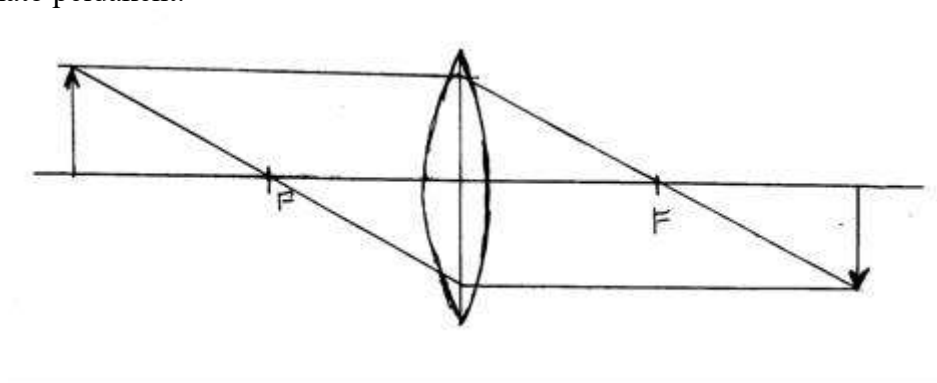
IX.4. ábra
A fénysugár áthaladása homorú lencsén

a párhuzamosan beeső fénysugár egy ponton, a fókuszponton halad keresztül, ezért gyűjtőlencsének is szokás nevezni. Homorú lencse esetén az ábra szerint a fókuszpont a lencse azon oldalára esik, ahol a fény belép a lencsébe, és a beesés után a fény szóródik, ezért szóró lencsének is szokás nevezni.

A lencsét optikai eszközökben használják kiterjedten (fényképezőgép, távcső, szemüveg). A képalkotásra vonatkozó szabályok a következők:

- 1.) a párhuzamosan érkező sugarak a fókuszponton keresztül haladnak tovább
- 2.) a fókuszponton keresztül érkező sugarak párhuzamosan haladnak tovább
- 3.) a lencse közepén áthaladó sugár változatlanul halad tovább.

Ezen szabályok alapján szerkesztett képalkotás egy gyűjtő lencsére a IX.5. ábrán látható példaként.



IX.5. ábra
Képalkotás gyűjtő lencse esetén

Ha a tárgytávolságot t -vel, a képtávolságot k -val és a fókusz-távolságot f -fel jelöljük, akkor ezekre érvényes a következő összefüggés:

$$(IX.1.) \quad \frac{1}{k} + \frac{1}{t} = \pm \frac{1}{f}$$

A jobboldalon álló $1/f$ mennyiség előjele pozitív gyűjtő lencse esetén, negatív szóró lencse esetén.

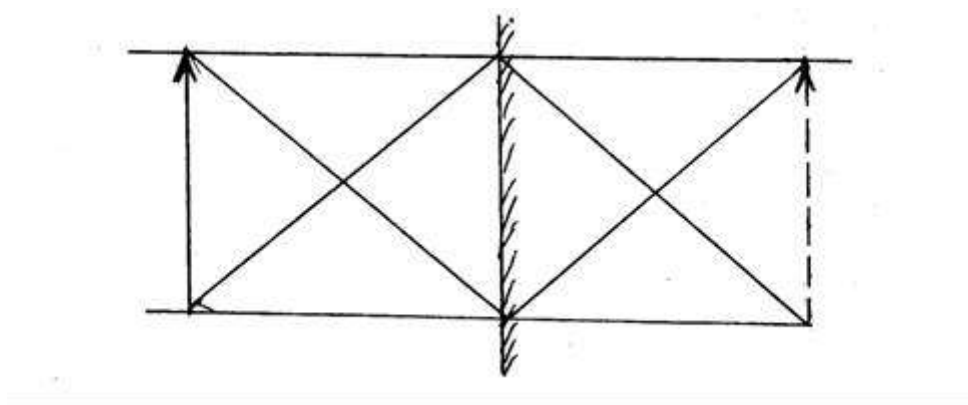
A lencsék esetén szokásos megadni az

$$(IX.2.) \quad \Phi = \frac{1}{f}$$

mennyiséget, mely a lencse dioptriája. Egysége az $1/m$. A dioptria gyűjtő lencse esetén értelemszerűen pozitív, míg szóró lencse esetén negatív.

IX.3. Sík, domború és homorú tükör

A sík tükör előtt lévő pontból kiinduló fénysugarak a IX.6. ábrának megfelelően úgy verődnek vissza, hogy a visszaverődő sugarak a



IX.6. ábra

A P pont P' képének keletkezése s sík tükör mögött.

tükörön túl egy pontban ismét fókuszálódnak. Ennek megfelelően a P pont P' képe látszólagos, azaz virtuális. A P pont távolsága a tükörtől ugyanakkora, mint a P' pont távolsága a tükörtől.

A sík tükör előtt lévő tárgy képe a tükör mögött keletkezik, egyenes állású és virtuális.

Gömbcikk felületű tükrök esetén a képalkotás a IX.2 pontban meg-fogalmazott 1.), 2.) és 3.) pontok alapján történik, de a lencsén áteső sugár helyett a tükörről visszaverődő sugarakat kell helyettesíteni.

X. rész

Elektromosság és mágnesség

X.1. Elektrosztatika

A legkisebb negatív elektromos töltése egy elektronnak van. A töl-tés nagysága $1,6 \cdot 10^{-19}$ C (coulomb-kulomb), az elektron tömege pedig $9,1 \cdot 10^{-28}$ g. A legkisebb pozitív elektromos töltése, mely egyezik a elektron töltésének abszolút értékével, egy pozitronnak van, melynek tömege $1,67 \cdot 10^{-24}$ g. Az elektromosan töltött testek töltése azáltal jön létre, hogy a tárgyra elektronokat viszünk fel, vagy onnan elektronokat távolítunk el. Az egynemű elektromosan töltött testek taszítják egymást, míg a különnemű töltéssel ellátott testek vonzák egymást. Az erőhatás nagysága pontszerűnek tekinthető q_1 és q_2 töltéssel ellátott testek esetén:

$$(X.1.) \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} * \frac{q_1 * q_2}{r^2}$$

ahol $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ A*s/V*m, az úgynevezett vákuum dielektromos együttható.

A tér egy pontjában elhelyezett töltés elektromos térerőt hoz létre, melynek nagyságát egy kis próbatöltetre ható erővel tudjuk mérni ezen tér más pontján. Az elektromos térerő vektor mennyiség és az elmondottak alapján a nagysága:

$$(X.2.) \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{F}}{q_0}$$

A tér valamely pontján elhelyezett pontszerű elektromos töltés által létrehozott térerő nagysága:

$$(X.3.) \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} * \frac{q}{\epsilon r^2}$$

ahol ϵ a tér közegének relatív dielektromos állandója, mely azt mutatja meg, hogy a térerő mennyivel kisebb a vákuum beli térerőnél.

Ha az elektromos tér gömbszimmetrikus, akkor képezhető az U skalár mennyiség:

$$(X.4.) \quad E = - \frac{\Delta U}{\Delta r},$$

mely a tér két pontja ($\Delta r = r_1 - r_2$) közötti feszültség különbség. Ha a tér nem gömbszimmetrikus, akkor ehelyett a képlet helyett az általánosabb

$$(X.5.) \quad E = - \text{grad}U$$

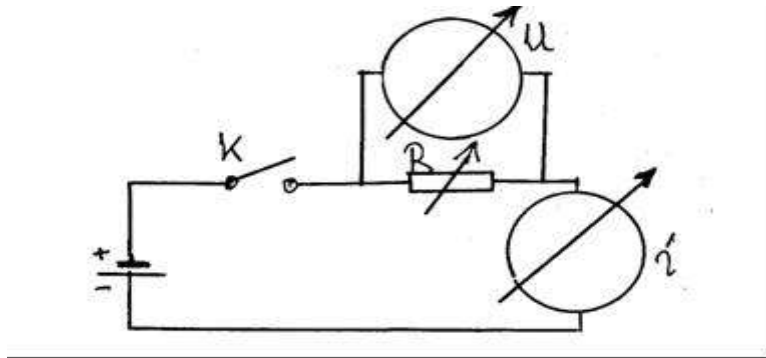
írható, mely bármely elektromos tér egy pontjának a potenciálját adja. Az U skaláris mennyiségből ezen módon képeztük az $\underline{E}$ vektort.

X.2. Az Ohm törvény

Ha egy olyan közegben, melyben az elektromos töltések elmozdulhatnak feszültség különbséget hozunk létre elektromos áram keletkezi, melyre az Ohm törvény érvényes:

$$(X.6.) \quad U = I * R$$

A képletben a R mennyiség az elektromos ellenállás, melynek egysége az Ohm (jelölése: Ω). Az I mennyiséget amperben (Ampere-ről elnevezve) kell helyettesíteni, és ekkor a feszültséget Voltban kapjuk, melyet szintén természettudósról neveztek el. A leggyakoribb ilyen eset, hogy a feszültséget valamilyen feszültség forrással hozzuk létre, melyhez csatlakozik az elektromosan vezető közeg, mely általában fém, és a fogyasztó, azaz az ellenállás, továbbá egy kapcsoló. Az ilyen elektromos kört az áttekinthetőség miatt szokásos sematikus rajzban is ábrázolni, mint az a X.1. ábrán is látható. A rajzon a szokásos jelöléseket alkalmaztuk, így K a kapcsoló, U az



X.1. ábra

Egy egyszerű elektromos kör rajza

U feszültségű egyenfeszültségű áramforrás jelölve a pozitív és negatív sarkokat, R az ellenállás, I pedig az áram folyásának iránya. A technikában az áram folyásának iránya a pozitív pólustól a negatív pólus felé történik. A valóság azonban az, hogy az elektromos körökben a negatív töltésű elektronok képesek elmozdulni, tehát a valós fizikai áramlás a negatív pólusból a pozitív pólus felé tart. Az elektronok áramlása miatt a pozitív pólus helyén elektronhiány lép fel, és úgy néz ki, mintha ez a hiány áramolna a pozitív pólustól a negatív felé, így értelmezhető a technikai áram iránya.

X.3. Bonyolultabb elektromos körök számítása, Kirchhoff törvények

Kirchhoff első törvénye szerint, mely csomópont törvényként is ismert, az egy csomópontba befolyó és onnan kifolyó áramok összege egyenlő. Képlettel is kiírva:

$$(X.7.) \quad \sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Kirchhoff második törvénye a hurok törvény azt mondja ki, hogy egy hálózat zárt körében (a hurokban) a lévő R_k ellenállásokon keresztül folyó I_k áramerősség miatt keletkező $I_k \cdot R_k$ feszültségek összege a körben lévő áramforrások feszültségének összegével egyező:

$$(X.8.) \quad \sum_{k=1}^n i_k \cdot R_k = \sum_{k=1}^n U_k$$

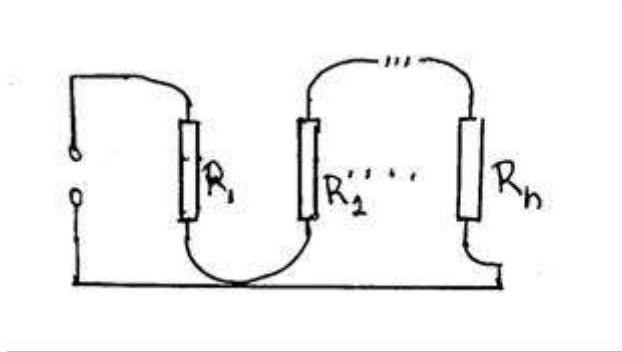
X.4. Sorba és párhuzamosan kötött ellenállások eredője

A X.2. ábrán az $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ ellenállásokat egymás után sorba kötöttük. A körben folyó I áramerősség hatására az ellenállásokon $U_1, U_2, U_3 \dots U_n$ feszültség keletkezik, amely megegyezik az U kapcsolófeszültséggel, ezért

$$(X.9.) \quad U = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n.$$

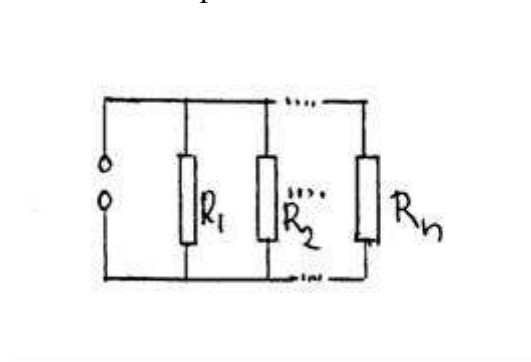
Az egyenlőség mindkét oldalát I -vel osztva baloldalon az eredő ellenállást kapjuk, tehát

$$(X.10.) \quad R_{\text{eredő}} = \sum_{k=1}^n R_k$$



X.2. ábra
A sorba kötött ellenállások

A X.3. ábrán n darab R ellenállást párhuzamosan kötöttünk. Ekkor



X.3. ábra
A párhuzamosan kötött ellenállások

az U feszültség hatására az ágakban

$$(X.11.) \quad I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

áramerősség folyik. Az I áramerősségek helyett az Ohm törvény alapján U/R -t írva és azonnal U-val az egyenlőséget végigosztva az eredő ellenállást kapjuk:

$$(X.11.) \quad \frac{1}{R_{\text{eredő}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_i}$$

X.5. Az elektromos teljesítmény, munka és energia

Ha a X.1. ábra szerinti kör kapcsolóját zárva tartjuk, akkor az R ellenálláson átfolyó áram az ellenállást felmelegíti. A felmelegítésre szolgáló elektromos teljesítmény:

$$(X.12.) \quad W = U \cdot I$$

Ha az áramerősség t ideig hat, akkor az elvégzett munka nyilván:

$$(X.13.) \quad A = U \cdot I \cdot t$$

Az így elvégzett elektromos munka hőmennyisége:

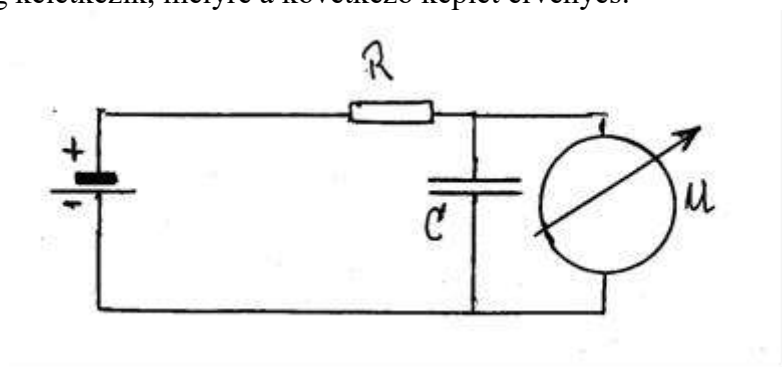
$$(X.14.) \quad Q = 0,24 \cdot U \cdot I \cdot t$$

ahol ha U -t V-ban, I -t A-ban, t -t s-ben helyettesítjük, akkor a Q -t cal-ban (kalóriában) kapjuk. (1 cal = 4,19 J).

Vegyük észre, hogy a (X.14.) képletben szereplő munkát úgy tudtuk elvégeztetni, hogy a X.1. ábrán levő kapcsoló bekapcsolása után meginduló áram végezte azt el, ezért az áramforrást olyan eszköznek kell tekinteni, mely elektromos energiát tartalmaz.

X.6. A kondenzátor

Ha a X.4. ábra szerinti egyenáramú körbe az ábra szerint két fém-lemezt helyezünk, melyek egymástól kis távolságban párhuzamosan vannak, amelyet kondenzátornak hívunk, akkor a körben mindaddig áram folyik, míg a kondenzátoron az odaáramló töltések miatt a feszültség meg nem egyezik a telepfeszültséggel. A körben folyó I áramerősség hatására a kondenzátoron U feszültség keletkezik, melyre a következő képlet érvényes:



X.4. ábra
Kondenzátor az egyenáramú körben

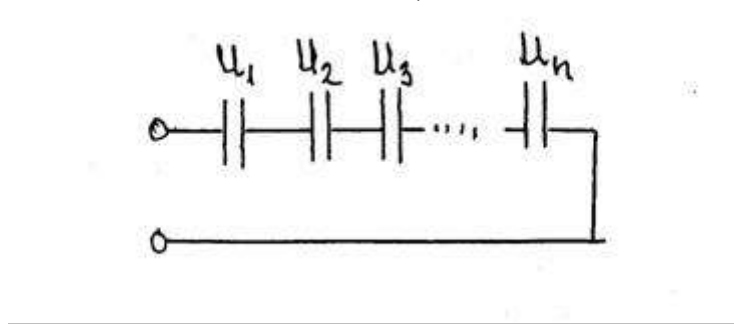
$$(X.15.) \quad U = \frac{Q}{C}$$

ahol C a kondenzátor kapacitása, melynek egysége a F (farád). Az 1F általában nagyon nagy egység a technikai alkalmazások esetén, ezért ennek tört részeit használjuk a gyakorlatban, így: μF (mikrofarád), nF (nanofarád), pF (pikofarád).

Ha a X.4. ábrán lévő kondenzátort egy ellenálláson keresztül rövidre zárunk, akkor a kondenzátoron felhalmozott töltések eláramolnak onnan (a két fegyverzetten lévő töltések kiegyenlítődnek), és az így kialakuló elektromos áram munkát képes végezni az R ellenálláson. A kondenzátor tehát elektromos energia tárolására képes, melynek nagysága:

$$(X.16.) \quad E = \frac{1}{2} C \cdot U^2.$$

Hasonlóan az ellenállásokhoz a kondenzátorokat is kapcsolhatjuk sorba és párhuzamosan. A sorba kapcsolt kondenzátorok esetén (X.5. ábra) az U feszültséget a kondenzátorokon lévő $U_1, U_2, \dots, U_n$



X.5. ábra
Sorba kapcsolt kondenzátorok

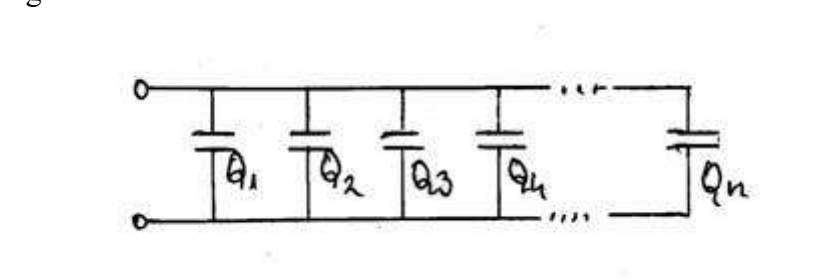
feszültségek összege adja, melyre felírható a következő a X.15 képletet figyelembe véve:

$$(X.17.) \quad \frac{Q}{C_{eredő}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots + \frac{Q}{C_n}$$

Mindkét oldalt Q -val végigosztva:

$$(X.18.) \quad \frac{1}{C_{eredő}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok esetén (X.6. ábra) az egyenletet az egyes ágakban a kondenzátorokon lévő $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ töltésekre írhatjuk fel az egyenlőséget és



X.6. ábra
Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok

azonnal figyelembe véve:

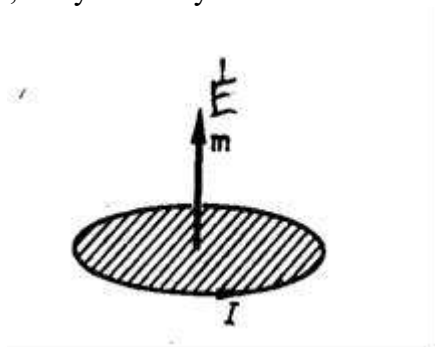
$$(X.19.) \quad U \cdot C_{eredő} = U \cdot C_1 + U \cdot C_2 + \dots + U \cdot C_n,$$

melyet U -val való osztás után:

$$(X.20.) \quad C_{\text{eredő}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

X.7. A mágneses tér

Ha egy vezető hurokba áramot vezetünk akkor a hurokban keringő áram hatására mágneses tér keletkezik, melynek iránya a X.7. ábrán



X.7. ábra

A vezető hurokban keringő áram hatására keletkező mágneses tér

látható. Ugyanez mondható el egy tekercsről is. Ha ökölbe szorított jobb kezünk ujjai a tekercs meneteinek irányát követi, akkor a ki-nyújtott hüvelyk ujjunk a keltett mágneses tér irányába mutat. (jobb kéz szabály, Biot-Savart törvény).

Mindaddig amíg áram folyik a tekercsben a mágneses tér fennmarad, kikapcsolva az áramot a mágneses tér leépül, melynek következtében áram keletkezhet, ha gondoskodunk, hogy a tekercs egy ellenálláson keresztül ismét zárt körbe kerüljön. A tekercs ennek megfelelően energiát raktározott, melynek nagysága:

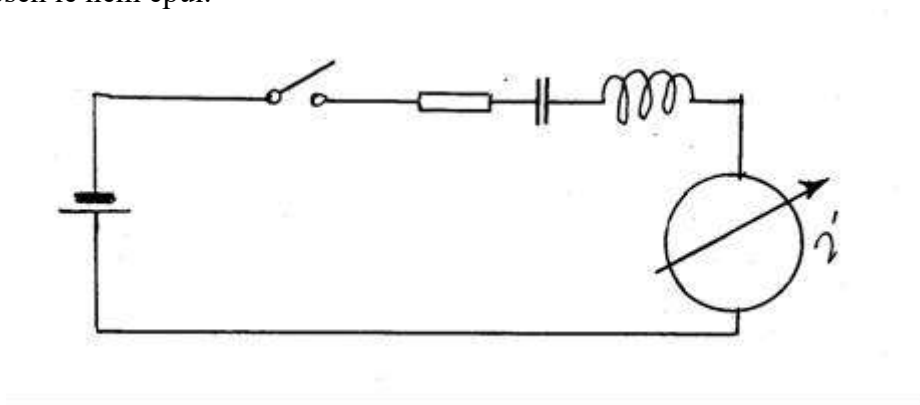
$$(X.21.) \quad E = \frac{1}{2} L \cdot I^2,$$

ahol L az önindukciós együttható.

X.8. Bekapcsolási jelenségek

Ha a X.8. ábra szerinti egyenáramú körben amelyben az R ellenálláson kívül C kapacitású kondenzátor és L tekercs is van, a K kapcsolót bekapcsoljuk, akkor az R ellenállás által (Ohm törvény) megszabott egyenáram indulna, melyet korlátoz az L tekercs azzal, hogy a mágneses tere felépítéséhez energiát von el, így a körben folyó áram nem éri el az ellenállás által megengedett áramerősséget. A C kondenzátorra jutó töltések a kondenzátor két fegyverzete között feszültséget kezdenek létrehozni, mely a telepfeszültség ellen hat, így az áram ennek hatására is csökken, aminek következtében a tekercs mágneses tere kezd leépülni kissé növelve az áramerősséget. A körben az áram mindaddig folyik,

amíg a kondenzátor feszültsége a telepfeszültséget el nem éri és a mágneses tér teljesen le nem épül.



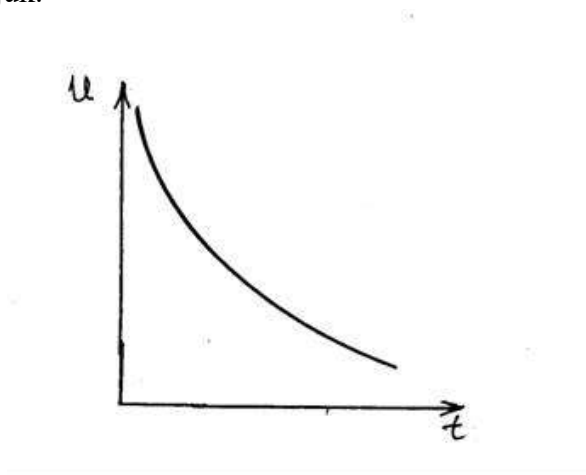
X.8. ábra

Egyenáramú kör a bekapcsolási jelenségek leírásához

Külön meg kell említeni egy olyan kört, amelyben egy töltött C kondenzátort R ellenálláson keresztül sűtünk ki a K kapcsoló be-kapcsolásával. Az R ellenálláson időbeni lefutó feszültségre a következő írható:

$$(X.22.) \quad U = U_0 \cdot \exp(-t/R \cdot C)$$

ahol az $R \cdot C$ szorzatot a kör időállandójának is szokás nevezni, U_0 a kondenzátor feszültsége a $t=0$ időpillanatban. A feszültség lefutását az idő függvényében a X.9. ábrán láthatjuk.



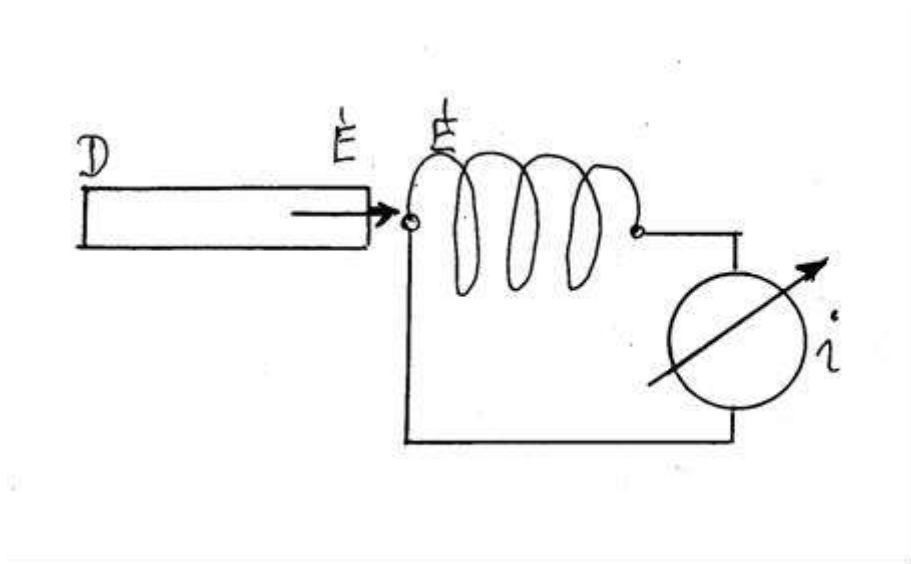
X.9. ábra

A kondenzátor feszültségének lefutása

Nagyon nagy ellenállás esetén tehát a kondenzátor hosszú idő alatt veszíti el töltését.

X.8. Az indukció

Ha a X.10. ábra szerinti kapcsolás tekercsége egy rúd mágnest belökünk, az áramerősséget mérő műszer kijelzi az áramkörben folyó áramot, mely mindaddig folyik, míg a mágnes a tekercsben mozog. A tekercs kapcsain keletkező feszültség a mágneses erővonalak számának változásától, a Φ mágneses fluxus



X.10. ábra
Mérési elrendezés az indukció kimutatására

változásától függ, tehát

$$(X.23.) \quad U = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

A tekercsben keletkező áram olyan mágneses teret igyekszik létrehozni, mely ellentétes a mágnesrúd tekercsbe lökött polaritásával, ezért szükséges a negatív előjel a képletben. A mágnes hatására létrejött jelenséget indukciónak nevezzük, az ekkor meginduló áram hatására létrehozott mágneses tér pedig az úgynevezett öindukció hatására jön létre.

X.9. A váltakozó áram

A X.10. ábra szerinti tekercsben úgy is létrehozhatunk mágneses fluxus, hogy a tekercs előtt a rúdmágnesset pörgetjük. Ekkor a tekercsben folyó áram iránya váltakozva attól függ, hogy a tekercs előtt az északi, vagy a déli mágnespólus hoz létre mágneses fluxusváltozást. A gyakorlati életben a generátorok vagy dinamók felépítése bonyolult, a mágneses teret gyakorlatilag ismét áram által átjárt tekercsrel hozzák létre, melyek vasmagra tekercseltek. Az erőművekben forgó generátorok fordulatszámát úgy szabályozzák, hogy a hálózatra kerülő váltó-áram frekvenciája 50 Hertz legyen.

X.10. A transzformátor

Zárt vasmagra tekecselt huzal a vasmagban zárt mágneses teret hoz létre, ha a tekercsbe áramot vezetünk. Egy újabb tekercset a vasmagra helyezve ebben a tekercsben is feszültség indukálódik, mely feszültségekre a következő írható, ha a tekercsek meneteinek száma n_1 és n_2 :

$$(X.24.) \quad U_1 \cdot n_1 = U_2 \cdot n_2$$

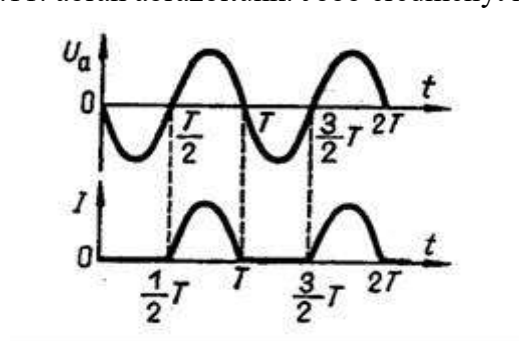
A képletnek megfelelően az eredeti U_1 feszültséget egy ettől eltérő U_2 feszültséggé alakíthatjuk át:

$$(X.25.) \quad U_2 = \frac{n_1}{n_2} * U_1$$

Ez a feszültség átalakító a transzformátor, melyet az elektromos energiaátvitelnél széleskörűen alkalmaznak hasonlóan más elektromos és elektronikus eszközöknél. Elterjedését az is indokolja, hogy az átalakítás hatásfoka jobb, mint 99%, ezért az ilyen átalakítók vesztesége nagyon kicsi. Hazánkban a távvezetéseken érkező magasfeszültségű váltó feszültséget a háztartási felhasználóknak 220 V-ra transzformálják le. A háztartásokban használt gépek ezt a feszültséget gyakran a készülékbe beépített transz-formátorokkal még alacsonyabb feszültséggé transzformálják.

X.11. Az egyenirányítók

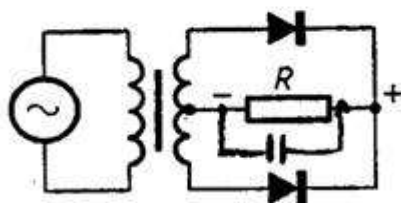
Az elektrotechnikában a készülékek működtetéséhez gyakran egyenfeszültségre van szükség, melyet kényelmi szempontok miatt, vagy energiatakarékossági okokból váltó feszültségű forrásból, például a hálózati feszültségből alakítunk át. Ezen átalakítók lelke a dióda, mely a váltófeszültséget csak egy irányban, például a pozitív félperiódusban engedi át. Ilyen esetben lüktető egyenáramot kapunk, melyet a X.11. ábrán ábrázoltunk. Jobb eredményt kapunk



X.11. ábra

Egyutas egyenirányítóval kapott feszültségkép

A kétutas egyenirányítóval és simító kondenzátor közbeiktatásával. Egy ilyen kapcsolási rajzot a X.12. ábrán láthatunk. Ha a simító kondenzátort elég nagyra



160. ábra

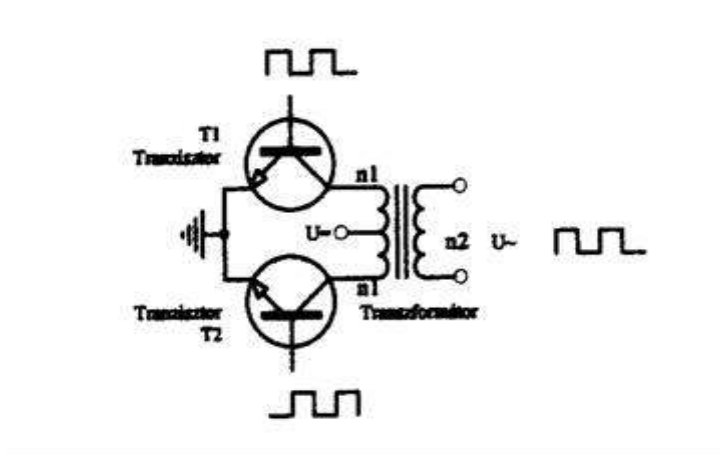
X.12. ábra

Kétutas egyenirányító kapcsolási vázlata

választjuk, akkor a lüktetés szinte teljesen kiküszöbölhető.

X.12. Egyen-váltó feszültség átalakítók

Megesik, hogy olyan helyen kell elektronikus eszközeinket működtetni, ahol nincs lehetőség a hálózati feszültség felhasználására (trerepi munkák). Ilyen esetekben feszültségforrásként egyenfeszültségű telepeket (elemeket) használunk. A telepek által szolgáltatott alacsony feszültség azonban nem minden esetben elegendő. A magasabb feszültség előállításához az egyenfeszültség váltófeszültséggé való átalakításra van szükség, melyet aztán a kívánt feszültségre transzformálhatunk. Ilyen egyen – váltó feszültség átalakító kapcsolási rajza a X.13. ábrán látható.



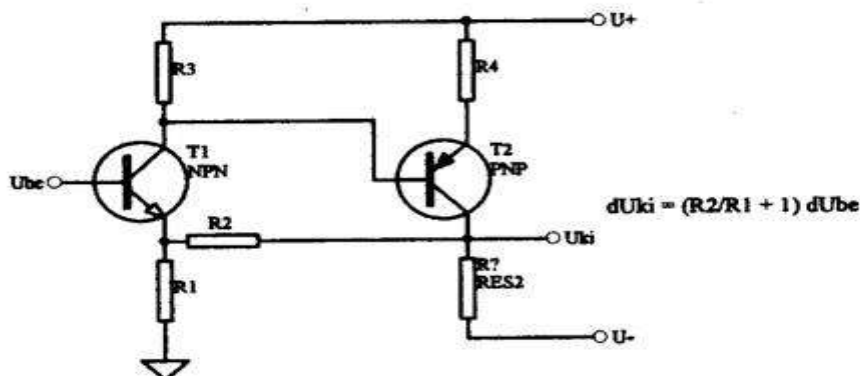
X.13. ábra. Egyen – váltó feszültség átalakító

X.13. Feszültség erősítők

Az elektronikus készülékekre érkező jelek általában nem elegendő nagyságúak ahhoz, hogy a hang vagy kép azonnal élvezhető legyen. Az ilyen gyenge jeleket tovább kell erősíteni, mely célt napjainkban a tranzistoros erősítők végzik el. A tranzistorok részletesebb működésének ismertetése helyett a X.14. ábrán egy ilyen erősítő kapcsolási rajzát mutatjuk. Az olvasóra bízunk működésének tanulmányozását.

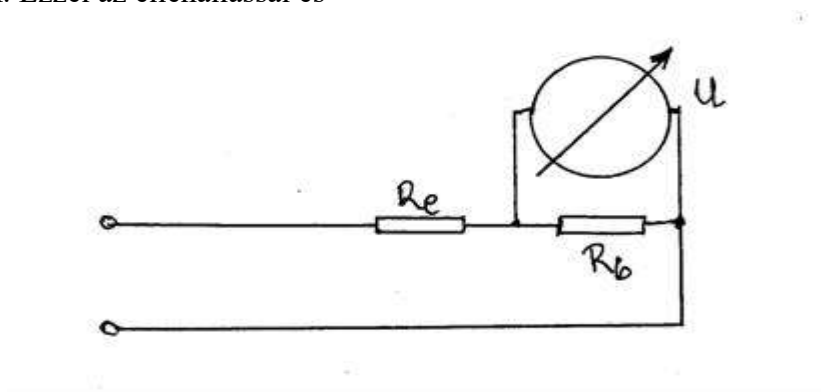
X.14. A feszültség mérése

Általában a mérőeszközöktől megkívánjuk, hogy a méréssel ne változzon megméréendő eszköz, vagy részegység állapota, így feszültség mérés esetén a mérendő feszültség nagysága. Ezt a feltételt úgy tudjuk elérni, hogy olyan mérőműszert választunk, hogy a mérendő áramkör belső ellenállásánál a mérőműszer belső ellenállása jóval nagyobb legyen. Ez a feltétel a gyakorlati mérés-technikai feladatoknál általában teljesül.



X.14. ábra
Tranzistoros feszültség erősítő

Ha olyan feszültséget kell mérnünk, amelyet a mérőműszerünk méréshatára nem tesz lehetővé, akkor a mérőműszerünk elé egy úgynevezett előtét ellenállást kell kötnünk. Ezzel az ellenállással és



X.15. ábra
A feszültségmérő műszer méréshatárának kiterjesztése előtét ellenállás segítségével

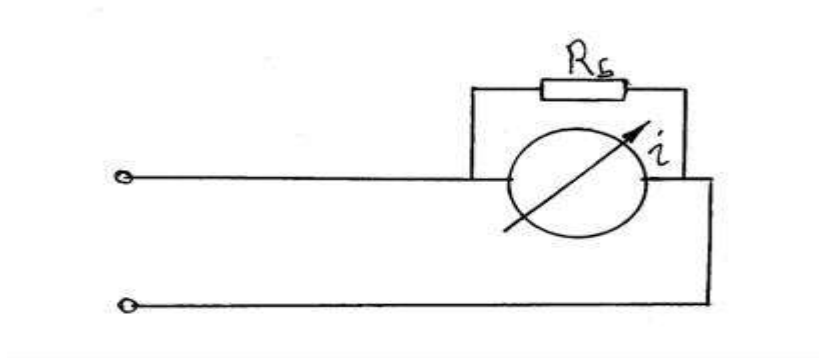
a műszerünk belső ellenállásával ekkor egy feszültségosztó ellenállás láncot hozunk létre, így megfelelő méretezéssel el tudjuk érni, hogy az előtét ellenálláson essen a feszültség egy része, a mérőműszerünk belső ellenállásán pedig csak akkora, mely a műszer méréshatáránál kisebb.

X.15. Az áramerősség mérése

Az előző fejezetben elmondottak alapján arra kell törekednünk, hogy a mérendő körben az áramerősség nagysága ne változzon, melyet úgy tudunk elérni, hogy a mérőműszerünk belső ellenállása jóval kisebb legyen, mint mérendő kör ellenállása.

Ha a mérőműszerünk méréshatára kisebb, mint a mérni kívánt áramerősség nagysága, akkor az áramerősség mérő műszer határát ki kell terjesztenünk.

Ehhez az úgynevezett shunt (etsd: sönt) ellenállást használjuk, mely ellenállás ki-



X.16. ábra

Az árammérő műszer méréshatárának kiterjesztése shunt ellenállással

sebb, mint a mérőműszerünk belső ellenállása. Ekkor a shunt ellenálláson folyik a mérendő áram nagy része, és a műszerre csak annyi jut, amekkorát a műszer méréshatára még megenged.

X.16. Kondenzátor és tekercs a váltóáramú körben

Mint azt a X.7. részben láttuk egy kondenzátort tartalmazó egyenfeszültségű körben addig folyik áram, amíg a fegyverzeteken ki nem alakul a telepfeszültséggel egyező feszültség. Ugyancsak láttuk, hogy tekercset tartalmazó körben az áramerősség kisebb, mint azt az ohmikus ellenállás megengedi, mert az áram hatására a tekercsben mágneses tér épül fel, és ennek felépülése után folyik csak akkora áram, mint amekkorát az ohmikus ellenállás megenged. Belátható, hogy ha az áram iránya folyton változik, azaz az áramkör váltóáramú, ezek a terek folytonosan leépülnek, illetve újra felépülnek. Ennek megfelelően a körben folyó áramerősség előtt mintegy a váltóáram frekvenciájától is függő ellenállás keletkezik. Váltóáramú körben ennek megfelelően a kondenzátor ellenállása:

$$(X.26.) \quad R_C = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

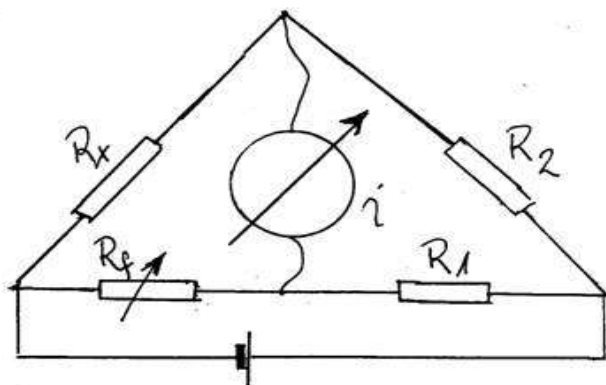
A tekercs ellenállása pedig:

$$(X.27.) \quad R_L = L \cdot \omega,$$

ahol L a tekercs önindukciós együtthatója. Mértékegysége a Henry.

X.17. Az ellenállás mérése

Az ellenállás mérésére az Ohm törvényt is felhasználhatjuk, amennyiben egy adott feszültség mellett meghatározzuk a körön folyó áramerősséget. Gyakoribb azonban a Wheadstone-hidas (ejtsd: vitszon) módszer, melynek kapcsolási elrendezése a X.17. ábrán



X.17. ábra
A Wheatstone-híd kapcsolása

látható. Az R_f ismert fix ellenállás mellett az további R_1 fix ellen-állást alkalmazunk. Az R_2 változtatható ellenállást, mely például pontos ellenállásokból összeállított ellenállásszekrény lehet, úgy kell beállítani (kiegyenlíteni), hogy az ampermérőn ne folyjon áram. Ekkor az ampermérő két kapcsa egyenlő potenciálú hely, mely miatt érvényes a következő aránypár:

$$(X.28.) \frac{R_f}{R_x} = \frac{R_1}{R_2}$$

ahonnan a keresett R_x ellenállás:

$$(X.29.) \quad R_x = \frac{R_2}{R_1} * R_f$$

Amennyiben az egyenáramú feszültségforrás helyett váltófeszültségű áramforrást használunk, úgy a Wheatstonehídbe az ellenállások helyére kondenzátorokat, vagy tekercseket tehetünk, így mód nyílik a kapacitások, vagy az önindukciós tekercsek ellenállásának mérésére is, melyből a kapacitás, vagy az önindukciós együttható értéke kiszámítható a váltófeszültség körfrekvenciájának ismeretében.

XI. rész

Atomfizika

XI.1. A Bohr-féle atom modell

Az anyag legkisebb része, amely még rendelkezik az anyag tulajdonságaival az atom. Az atomok is részekre bonthatók, az atommagra és az ezt körülvevő héjra.

Az atommag pozitív töltésű protonokból és töltés nélküli neutronokból áll. Az héj negatív töltésű elektronok vannak, melyek száma megegyezik a protonok számával, így az elektronok leárnyékolják az atommagot, tehát az atom ennek megfelelően nem mutat töltöttséget, azaz neutrális. A protonok és neutronok tömege az egy atomi tömegegység, mely nagyjából egyezően $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, (a kettő közötti tömegkülönbség a harmadik tizedes jegyben van). Az elektronok tömege $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, tehát mintegy 1840-szer kisebb, mint a protonok és a neutronok tömege. A magban lévő protonok száma a Mendelev-féle periódus rendszerben a rendszámmal egyezik. A magban lévő neutronok száma nem egyezik a protonok számával, de a rendszám növekedésével számuk is nő. A neutronok és a protonok együttes atomi tömege a tömegszámot adja, mely nem pontosan egyezik a neutronok és a protonok együttes számának összegével. A kettő közötti különbség a kötési energiát adja, melynek nagysága Einstein szerint:

$$(XI.1.) \quad E = m \cdot c^2$$

ahol c a fénysebesség, m az úgynevezett tömegdefektus, a fenn említett tömegszám különbség.

XI.2. Az atomok héjszerkezete és a kiválasztási szabályok

A kísérleti és elméleti fizikai vizsgálatok arra mutattak, hogy a mag körül az elektronok keringése nem történhet akármilyen pályán. Ezeket a pályákat meghatározzák az úgynevezett főkvantum számok és a mellék kvantumszámok. A főkvantumszámok egyszerű egész számok, tehát $n=1, 2, 3$, stb. Az l mellék kvantumszámok arra utalnak, hogy az elektron pályája mennyire tér el a körtől, azaz milyen mértékben ellipszoid. Ezekre vonatkozóan: $l < n$, és számuk: $2l \cdot (l+1)$. Ugyancsak kimutatták, hogy az elektronok a keringésen kívül forognak is és a forgásból következően spin kvantumszámmal rendelkeznek, melynek értéke $+1/2$, vagy $-1/2$. Az elektronok forgásából következően ezek is keltenek kis mágneses teret, melynek beállása egy gyenge térhez képest csak $\Delta m=1$ értékkel változhat. Ezek a kvantumszámok egy atomon belül nem lehetnek akár mekkorák, hanem a Pauli-elv szerint egy atomon belül nem lehet két olyan elektron, melynek a kvantumszáma megegyezik. Ennek eredményeként az n főkvantum számhoz tartozó elektronok száma:

$$(XI.2) \quad 2 \cdot \sum_{l=0}^{n-1} (2l + 1) = 2n^2$$

Ennek megfelelően az egyes héjakhoz tartozó elektronok száma:

főkvantumszám (n):	1	2	3	4	5	6	7
elektronok száma:	2	8	18	32	50	72	98
a héj neve:	K	L	M	N	O	P	Q

Az egyes héjak az l mellékkvantumszám szerint alhéjakra tagozódnak. Ezeken $2 \cdot (2l+1)$ elektron helyezkedhet el. Ezek elnevezése és az ezeken lévő elektronok száma:

mellékkvantumszám (l):	0	1	2	3	4	
az elektronok száma:	2	6	10	14	18	
az alhéj neve:	s	p	d	f	g	

Ennek megfelelően az első tizenhárom atom elektronjainak számát és azok elhelyezkedését a héjakon a XI.1. táblázatban megadjuk:

Rend Szám	Név	K héj	L héj		M héj		
		1s	2s	2p	3s	3p	3d
1	H	1					
2	He	2					
3	Li	2	1				
4	Be	2	2				
5	B	2	2	1			
6	C	2	2	2			
7	N	2	2	3			
8	O	2	2	4			
9	F	2	2	5			
10	Ne	2	2	6			

XI.1 táblázat

A Mengyelejev féle periódusos rendszer első tíz elemének elektron konfigurációi

Vegyük észre, hogy ha egy héj betelt (K héj esetén két elektron: He, L héj esetén 10 elektron: Ne), akkor egy nemesgázt kapunk. Azt mondjuk, hogy az ilyen héj nemesgáz konfigurációjú, és az ilyen elemek nem vegyülnek más elemmel. A vegyületek arra törekednek, hogy ilyen nemesgáz konfigurációt vegyenek fel, ennek megfelelően például a Li a F-ral reagál, mert a F atom külső héján hiányzó egyetlen elektront a Li pótolni képes, így a LiF (lítiumfluorid) külső elektronhéja már a Ne nemesgáz konfigurációval egyezik. Vegyük észre azt is, hogy az elemek vegyértékét az határozza meg, hogy a külső elektronhéjon lévő elektronok száma mennyivel több, vagy kevesebb, mint az a nemesgáz konfigurációhoz szükséges. Így például a H egy, az O két vegyértékű. Az oxigén atom hiányzó két elektronját két hidrogén atom által szolgáltatott elektron tudja pótolni, így stabil vegyület a H₂O (víz) keletkezik.

XII. rész

Atommag fizika

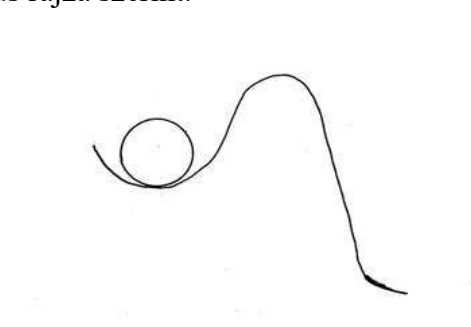
XII.1. Az atommag felépítése és bomlása

Mint azt már a XI. részben említettük az atommag az atom belse-jében helyezkedik el, és pozitív töltésű protonokból, valamint semleges neutronokból áll. A magon belül a mag sugarának harmadik hatványával arányos magerők működnek, melyek hatására a mag a Coulomb erőket le tudja győzni, és többé-

kevésbé stabil állapotban tud maradni. Ez a stabilitás a rendszám növekedésével, azaz a pozitív töltésű protonok számának növekedésével egyre jobban csökken.

Az atommag belső szerkezetére vonatkozóan több modell is ismert. Ilyen modell a héj modell, mely a protonok és neutronok elrendeződését az atomhéjakhoz valamennyire hasonlóan képzei el. Egy másik modell a csepp modell, melynek alapja az, hogy az atommagból alfa sugárzás léphet ki, mely nem más, mint elektronjaitól megszabadított He mag, azaz két proton és két neutron. Az atommagban lejátszódó jelenségek magyarázatára mindkét modellt használják, ezért egy egységes modell ma még nem ismert.

Az atomok bomlásával kapcsolatos mai elképzelésünk az, hogy az atommagban az a részecske, mely a bomlás során a magból kilép, egy potenciálgödörben van a XII.1. ábra sematikus rajza szerint.



XII.1. ábra
A potenciálgödörben lévő részecske

Ebből a potenciálgödörből a részecske úgy tud kijutni, hogy a potenciálgödör falán alagutat talál magának (alagút effektus).

A nem stabil atommagok alfa, béta és gamma sugárzók.

XII. 2. Az alfa sugárzás és az azt követő gamma sugárzás

Az alfa sugárzás két protonból és két neutronból álló részecske, mely tulajdonképpen egy teljesen ionizált He atom. Ekkor az alfa sugárzást kibocsátó atommag rendszáma kettővel csökken a két kibocsátott proton miatt, tömegszáma pedig négyvel csökken a további két neutron miatt. A magból kibocsátott alfa sugárzás energiája diszkrét, azaz meghatározott nagyságú és MeV-ben (mega elektron Volt) mérjük. ($1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{13} \text{ J}$). Egy atom azonban több diszkrét energiájú alfa részecskét is kibocsáthat. Az alfa sugárzást kibocsátó magban a sugárzás után általában még mindig fölös energia marad vissza, mert az új mag és a sugárzást kibocsátó mag közötti kötési energia különbséget az alfa sugárzás nem viszi el teljes egészében. Úgy mondjuk, hogy az új mag gerjesztett állapotban marad vissza. Ezt az energiát az új keletkezett mag gamma sugárzás formájában bocsátja ki. Ez a gamma sugárzás is diszkrét, és annyi féle energiájú, mint amennyi az alfa sugárzás száma volt. A gamma sugárzás nem változtatja meg a mag rendszámát és a tömegszámát sem, mivel sem töltéssel sem tömeggel nem rendelkezik. Mivel hullám formában terjed tova szokásos gamma fotonnak is nevezni, mivel hullámformája miatt a fényhez hasonlítható a viselkedése.

Az alfa sugárzó anyag átalakulásának úgynevezett felezési ideje van, ami azt jelenti, hogy a felezési idő alatt a sugárzóképes anyagnak fele alakul át új maggá. Az alfa sugárzó elemek felezési ideje nagyon különböző. A leghosszabb felezési idő 10^9 év, míg a legrövidebb 10^{-7} másodperc.

XII.3. A béta sugárzás és a neutrínó

Béta emisszió esetén az atommagból vagy negatív töltésű elektron, vagy pozitív töltésű pozitron sugárzódik ki. Ha elektron emittálódik, akkor a semleges töltésű neutron pozitív töltésű protonná alakul, ezáltal a leányelem rendszáma eggyel nagyobb lesz, tömegszáma gyakorlatilag nem változik. Pozitron emisszió esetén a mag egy protonja neutronná alakul, így az elem rendszáma eggyel kisebb lesz. Az emittált béta sugárzás energia spektruma 0 MeV és egy eléggé jól meghatározott maximális érték között folytonos, melynek magyarázata az, hogy bétabomláskor neutrínót, vagy antineutrínót is sugároz a mag, mely az elektron vagy pozitron által a magból el nem vitt energiával sugárzódik ki. A neutrínónak és az antineutrínónak nincs töltése, de a legújabb kutatási eredmények szerint tömege van.

A béta bomlás egy különleges esete a K befogás, amikor is a magba a legbelső K elektronhéjról egy elektron fog be a mag, ezáltal egy proton neutronná alakul, így rendszáma eggyel kisebb lesz.

A bétabomlás során általában gamma foton is emittálódik, mely a gerjesztett állapotban visszamaradt mag állapotát alapállapotba viszi. A béta sugárzó anyagok felezési ideje $2,5 \cdot 10^{-2}$ másodperc és $4 \cdot 10^{12}$ év között van.

XII.4. Mesterséges magátalakítás

Stabilis atommagokat alfa, béta részecskékkel, vagy protonokkal besugározva új atommagok is létrehozhatók. A gyakorlatban az ilyen besugárzásokhoz gyorsító berendezéseket használnak melyek a ciklotronok, betatronok vagy Van de Graaf generátorok lehetnek például. Az így létrehozott atommagok sugárzók, izotópoknak nevezzük, és az orvostudománytól a technika számos területén ma már szinte rutinszerűen alkalmazzák különböző vizsgálatoknál. Ezekhez a vizsgálatokhoz célszerűen kisebb felezési idejű izotópokat használnak elsősorban azért, mert ezek viszonylag nagy energiájú sugárzást emittálnak, így kimutatásuk könnyebb, másrészt pedig igyekeznek a sugárzást lehetőleg minimális időtartamra korlátozni.

Az izotóp termelés mintegy külön ága az atommag reaktorokban jelenlevő nagyszámú neutronok felhasználása. Ekkor elsősorban a kis energiájú lassú neutronokat tudják előnyösen használni. Ezek a kis energiájú neutronok a termikus neutronok, mely abból az elnevezésből származik, hogy a részecskék sebességéhez hőmérséklet rendelhető, mint azt a IV. részben láttuk. Ezekre a termikus neutronokra az atommagok általában nagy hatáskeresztmetszettel rendelkeznek ellentétben a gyors neutronokkal. A hatáskereszt-metszet az a

szám, mely azt mutatja, hogy a besugárzó részecskék milyen hányadát képes egy atommag befogni, és új maggá átalakulni. A hatáskeresztmetszet egysége az 1 barn= 10^{-24} cm². Az atommagok befogási hatáskeresztmetszete neutronokra a néhány barntól a néhány ezer barnig terjed, amiből azonnal látszik, hogy az izotóp termeléshez miért a nagy neutron fluxussal rendelkező atom-mag reaktorokat alkalmazzák.

XII.5. A maghasadás, vagy fisszió és fúzió

A nagy rendszámú magok nemcsak részecske emisszióra képesek, hanem maghasadásra, azaz két újabb magra való felbomlásra is. Ekkor az új magok rendszáma nagyjából az egyharmad kétharmad rész közelébe esik. Az új magok és a kisugárzott részecskék kötési energiájának összege kisebb, mint az anyamag kötési energiája, és ez a tömegdefektus energia formában felszabadul (lásd XI.1 képlet), így hőtermelésre is felhasználható. Ezt a fissziós (bomlásos) energiát használják ki az atomerőművekben. A bomlás befolyásolható a bomláskor keletkező neutronok számával, ugyanis minden hasadás esetén egynél több neutron emittálódik. Ezeket moderátorokkal (lassító anyaggal) lelassítva és termikus neutronokká alakítva a bomlás fenntartható ellenőrzött körülmények között, így békés célú energiatermelés megvalósítható.

Nagy tisztaságú hasadó anyagok esetén létezik egy kritikus tömeg és egy kritikus sűrűség, amelynél a gyors neutronok a hasadóanyagon belül hoznak létre újabb neutronokat, és ennek hatására láncreakció keletkezik, mely szinte azonnal robbanáshoz vezet. A kritikus tömeg nagysága miatt ezek a bombák nagy hatásúak. Már a kritikus tömeg határán is mintegy másfél-két kilotonna TNT felrobbanásával egyezik meg a hatása. Ezekben a bombákban vagy a kétfelé osztott anyagot hagyományos robbanóanyaggal lövik egymásba, vagy a hasadó anyag körül elhelyezett robbanóanyagot felrobbanva érik el a kritikus sűrűséget. A Hirosimai atombombánál a két fél hasadó töltetet egymásba robbantották. Nagaszaki esetén a hasadó anyag sűrűségét növelték robbantással.

Tömegdefektust nemcsak úgy tudunk elérni, hogy atommagokat hagyunk hasadni, hanem úgy is, hogy a periódusos rendszer elején levő magokat megpróbáljuk egy új maggá egyesíteni. A hidrogén atomnak ismert a deutérium nevű változata, amelynek magja egy protont és egy neutron tartalmaz. Két deutérium mag egyesítésével hélium mag állítható elő, hiszen ekkor olyan magot kapunk, amelyben két proton és két neutron van, ez pedig a hélium. A két deutérium kötési energiája lényegesen nagyobb, mint a hélium kötési energiája, így ismét energia szabadítható fel. Ehhez az átalakuláshoz azonban igen magas hőmérséklet szükséges mai ismereteink szerint, amelyet például egy kisebb atombomba felrobbantásával nyerhetünk. Ekkor a deutérium magok átalakulása hélium maggá nagyon gyorsan bekövetkezik (fúzió), és nagyon nagy energia sugárzódik ki. A hidrogén bomba hatása megatonna TNT nagyságokkal mérhető. A legnagyobb felrobbantott bombát, amely 60 Mt (megatonna) volt Novaja Zemján robbantották fel

Sajnos ma még ezt a folyamatot nem tudjuk szabályozható keretek között tartani, bár tudósok százai dolgoznak több évtizede ezen a problémán. Ha sikerül, ettől várhatjuk a jövő elektromos energiatermelésének megoldását.

Már a múlt század elején a fizikusok kimutatták, hogy a csillagokban, így a mi napunkban is, fúziós reakciók játszódnak le, és a fúziós reakciók nemcsak a hidrogén héliummá való átalakulására korlátozódik, hanem ahogyan a hélium, úgy a többi atommag is felépíthető hidrogén atommagokból.

II. Könyvrész

Alapvető kémiai ismeretek

1. A kémiai elemek és a periódusos rendszer

Azokat az anyagokat, melyek kémiai módszerekkel tovább nem oszthatók, és még rendelkeznek az anyagra jellemző tulajdonságokkal kémiai elemeknek nevezzük. A kémiai elemeket tulajdonságaik alapján Mendelejev orosz vegyész rendezte rendszerbe, amely a Mendelejev féle periódusos rendszer nevet kapta, melyet gyakran csak periódusos rendszerként említünk. A periódusos rendszer felépítését később a kvantumfizika a kiválasztási szabályokkal megmagyarázta, és ma már ezen fizikai ismeretekkel együtt használjuk. Ezekkel a fizikai ismeretekkel bővített periódusos rendszert az 1.1. ábrán tanulmányozhatjuk.

A kémiai elemek elnevezését és annak egy, vagy két betűvel jelölt kémiai rövidített nevét tartalmazza a periódusos rendszer. Minden egyes elem neve mellett megadják az elem rendszámát, azaz a helyét a rendszerben. Ez a rendszám az illető kémiai elem atommagjában lévő pozitív töltésű protonokkal egyezik. A protonok által keltett elektromos térerőt az atommag körül keringő negatív töltésű elektronok leárnyékolják, így az elemek alap állapotban semlegesek. Ugyancsak megadják az elem atomsúlyát, melyet az atommagban lévő protonok és semleges neutronok száma határoz meg, melyek atomsúlya közelítőleg egyenlő és egységnyi. Ennek megfelelően azt várhatjuk, hogy az elemek atomsúlya is egész szám. Az ettől való eltérés magyarázata az, hogy egyes elemek különbözhetnek egymástól a neutronok számának különbsége miatt. Az ilyen azonos proton számú, de különböző neutron számú elemeket izotópoknak nevezzük, és természetes előfordulásuk aránya egy elemet tekintve azonos, így a kémiai elemek atomsúlya nem egész szám a periódusos rendszerben. Az atomsúly nagyságát befolyásolja kisebb mértékben az is, hogy a pozitív töltések taszító hatását a magban lévő kis hatótávolságú kötési energia kompenzálja, ami miatt az elemek nagy része stabil. Ez a kötési energia is atomsúly változást vonz maga után, ez az atommag hasadásakor felszabadítható az

$$(1.1) \quad E = m \cdot c^2$$

képlet szerint, ahol m az atomsúly, c pedig a vákuumbeli fénysebesség. Az atommag körül keringő elektronok súlya kicsi, mintegy 1/1800 része a neutron és a proton tömegének, ezért az atomsúly ezek számától nem függ lényegesen.

A periódusos rendszer első eleme a hidrogén (jele H), melynek atommagja egyetlen protonból áll. Két izotópja ismert, a deutérium és a trícium, melyeket izotópoknak nevezzük, és természetes előfordulásuk aránya egy elemet tekintve azonos, így a kémiai elemek atomsúlya nem egész szám a periódusos rendszerben. Az atomsúly nagyságát befolyásolja kisebb mértékben az is, hogy a pozitív töltések taszító hatását a magban lévő kis hatótávolságú kötési energia kompenzálja, ami miatt az elemek nagy része stabil. Ez a kötési energia is atomsúly változást vonz maga után, ez az atommag hasadásakor felszabadítható

AZ ELEMEK PERIÓDUSOS RENDSZERE

<http://www.periodictable.com>

AZ ELEMÉK PERIÓDUSOS RENDSZERE

<http://www.periodiki.com>

Csoport

PERIÓDUS

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7

1 2

$$(1.1) \quad E = m \cdot c^2$$

képlet szerint, ahol m az atomsúly, c pedig a vákuumbeli fénysebesség. Az atommag körül keringő elektronok súlya kicsi, mintegy 1/1800 része a neutron és a proton tömegének, ezért az atomsúly ezek számától nem függ lényegesen.

A periódusos rendszer első eleme a hidrogén (jele H), melynek atommagja egyetlen protonból áll. Két izotópja ismert, a deutérium és a trícium, melyek atommagjában a proton mellett egy, illetve két neutron van. A periódusos rendszer első oszlopában foglal helyet, amely oszlopra jellemző, hogy a külső elektronhéjon, az 1s héjon, csupán egyetlen elektron kering.

A periódusos rendszer második eleme a hélium (jele He), mely a nyolcadik oszlop első eleme, és az atom magja két protont és két neutront tartalmaz. A két proton miatt az elektronok száma is 2, és ezen a héjon több elektron nem is helyezkedhet el, azaz ez a héj telített. A nyolcadik oszlopban elhelyezkedő elemek mindegyikének külső elektronhéja a kvantumfizikai kiválasztási szabályok (az elektronhéjakon szereplő elektronok négy kvantumszáma nem egyezhet meg) szerint telített. Ezen telítettség miatt több elektron oda nem kerülhet, azaz ezek az elemek más elemekkel nem képesek vegyületet létrehozni, ezért nemes gázoknak nevezzük. Minden olyan elem, amely nem ilyen külső elektronhéj konfigurációval jellemezhető egy más elemmel olyan módon képes vegyületet létrehozni, hogy a két, vagy több elemből összeálló vegyület közös külső elektronhéja nemesgáz konfigurációt vegyen fel. Az elektron héjakat K, L, M, N, O, P, Q héjaknak is nevezzük, amelyeken belül s, p, d és f alhéjak helyezkednek el. A héjakon lévő elektronok maximális számát az n főkvantumszám és az l mellékvantumszám határozza meg. A főkvantumszám 1-gyel kezdődik és jelen ismereteink szerint a legnagyobb 7. Az l mellékvantumszáma érvényes, hogy $l < n$. Az elektronok száma pedig az alhéjakon $2(2l+1)$. Az előbb már említett He főkvantumszáma 1, az 1s alhéjon így legfeljebb $2 \cdot (2 \cdot 0 + 1) = 2$ elektron lehet, így a K héj telített, a két elektron csak az elektronok spin kvantumszámában, mely az elektronok forgás irányából származik, különbözik.

A periódusos rendszer második sorának első eleme a Li (lítium) a külső 2s elektronhéjon lévő egyetlen elektronja miatt a második sor hetedik elemével a fluorral (F) LiF-t (lítium fluoridot) képes alkotni. A Li egyetlen elektronja ekkor a F külső héján lévő hét elektronnal közös, nyolc elektronnal álló héjat hoz létre, mellyel a közös elektronhéj a Ne (neon) telített héjának konfigurációját veszi fel. Mivel a Li egyetlen elektron képes leadni, a F pedig egyetlent képes felvenni, ezért a lítium kémiai elem és a fluor kémiai elem egy vegyértékű. Az első oszlop fémes elemeit alkáli elemeknek is szokás nevezni, a hetedik oszlop elemeit pedig halogén elemeknek.

A második sor második oszlopának eleme a Be (berilium), melynek két elektronja a 2s héjon helyezkedik el, ezért két vegyértékű. Ezek a két vegyértékű elemek a földalkáliák. A kiválasztási szabályok azonban megengedik, hogy egy

új héj, a p héj keletkezzen, ugyanis az így keletkező elektronhéjon lévő elektronok fő, mellék és spin kvantumszáma mellett a mágneses kvantumszám (az elektronok forgásából származó mágneses tér iránya) sem egyezik az összes elektronra. Így a második sor harmadik eleme a B (bór) képes leadni a p héjról egy, az s héjról pedig két elektront, így a B három vegyértékű. Ugyanezen sorban a már említett hetedik elem, az F a külső elektronhéjára egy elektront felvehet, így az is egy vegyértékű. A hatodik elem az O (oxigén) két elektront vehet fel, így két vegyértékű. A harmadik N (nitrogén) elem viszont képes három elektront felvenni, de képes a külső héj öt elektronját is leadni, így lehet öt vegyértékű is.

Az így ismertetett módon folytathatnánk az elemek ismételését, és megállapíthatnánk, hogy a periódusos rendszer első oszlopában és a hetedik oszlopában is egy vegyértékű elemek vannak. Ugyanígy megállapítható, hogy a második és a hatodik oszlop elemei két vegyértékűek. Három vegyértékűek a harmadik és ötödik oszlop elemei, és végül a negyedik oszlop elemei négy vegyértékűek (például a C-szén). A nyolcadik oszlop elemei a nemes gázok viszont nem alkotnak más elemekkel vegyületeket.

Az elektronhéjakon elhelyezkedő elektronok minden esetben a legkisebb energiájú helyzetet veszik fel, így a harmadik sorban az M héj 3p héja után nem a 3d alhéj kezd feltöltődni, hanem a 4s héj (K – kálium és Ca – kalcium), és csak a 4s héj után kezd töltődni az M héj 3d alhéja a Sc-mal (szkandium). Ugyancsak az M héjon a Cr elemnél a 4s héjon csak egy elektron helyezkedik el, a 3d héjon viszont 4 helyett 5 elektron lesz. Ugyanilyen látszólagos szabálytalanság tapasztalható a Mn (mangán), és a Cu (réz) esetén.

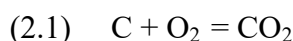
Az elektronok ilyen elhelyezkedése miatt a periódusos rendszer második és harmadik oszlopa közé a negyedik sortól további tíz oszlop kerül, amely elemek fémek, és általában kettő vagy három vegyértékűek. Ugyanilyen oka van annak is, hogy a hatodik sor harmadik eleme, valamint a hetedik sor harmadik eleme helyére 14-14 elem kerül. A hatodik sorban lévők a lantanidák (La-val jelölve), a hetedik sorban pedig az aktanidák (Ac-vel jelölve). Mint a lantanidákat, mint az aktanidákat a periódusos rendszer alatt külön-külön sorban tüntetik fel.

Mint már arra utalás történt, az atommagban lévő pozitív töltésű protonok egymást taszítják, és azért maradhatnak az atommagok stabilak, mert a protonokra és a neutronokra rövid hatótávolságú magerők hatnak. Ez a rövid hatótávolságú magerő azonban már a K^{40} izotóp esetén nem képes annyira hatni, hogy a mag stabil legyen, és ez az izotóp nagy felezési idővel ($1,32 \cdot 10^9$ év) β (elektron) emisszióval Ca^{40} izotoppá alakul. Az elemek rendszámának növekedésével a magerők egyre kevésbé képesek stabil állapotban tartani az elemeket, melyek α (elektronjaitól megfosztott He atom), β (elektron) kibocsátásával, vagy két kisebb atomsúlyú izotoppá szétesve bomlanak, melyet még γ gamma (elektromágneses sugárzás) foton kibocsátása is követ a mag

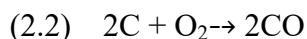
alapenergia szintjének eléréséhez. Ezeket az elemeket transzurán elemeknek is hívjuk. Ma már létrehoztak mesterségesen, például gyorsítókban elhelyezett elemek atomokkal történő bombázásával olyan elemeket is, melyek földi körülmények között nem léteznek. Ezek szinte azonnal bomlanak, felezési idejük akár néhány ezred másodperc is lehet.

2. A kémiai egyenletek, vegyületek keletkezés és bomlása

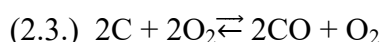
A kémiai egyenletekkel a vegyületek keletkezését és azok átalakítását, esetleges bomlását jelöljük. A változásokhoz többnyire meg kell határozni azokat a feltételeket, amelyek között a reakciók lefolynak, de erre a jobb és bal oldalon lévő jelölések közötti jelek is célozhatnak. Az egyenletnek teljesíteni kell az anyagmegmaradás elvét, és figyelembe kell venni a vegyületeket alkotó elemek vegyértékét is. A legegyszerűbbnek tűnő példán bemutattva a szén égését azonnal megjegyezve azt, hogy a nemes gázok kivételével a a normál körülmények között a gáz halmazállapotú elemek két atomos állapotban fordulnak elő:



Az oxidációhoz (ez esetben égés) magas hőmérséklet és elegendően oxigén dús környezet szükséges, így széndioxid keletkezik. Kevés oxigén esetén (redukáló atmoszféra) az égés nem lesz tökéletes, tehát:

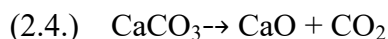


így a keletkező gáz szénmonoxid. Ez esetben a reakció irányát a nyíl jelzi. Magas hőmérsékleteknél egy harmadik reakció típus is előfordulhat: a széndioxid és a szénmonoxid keletkezése és jelenléte a hőmérséklettől függ, és egy adott hőmérsékletnek megfelelően a kettő egyensúlyban lehet:

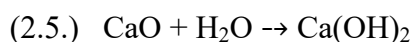


Ebben az esetben a reakció a hőmérséklettől függően a nyilak irányának megfelelően mindkét irányban végbe mehet.

Az ipar szempontjából fontos anyagokat gyakran a természetben előforduló anyagok hevítésével állítják elő így például az égetett meszet mészkőből:



Az égetett mész vízben oldódik és kalciumhidroxid keletkezik:



Ebből készítik a falazatot burkoló habarcsot, melynek szilárdulása a levegő széndioxidjával ismét szilárd mészkővé alakul a víz elpárolgása után:

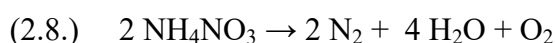


Sújtólég-veszélyes bányatárségek esetén gyakran használják az úgynevezett ioncserélős robbanóanyagokat, melyek robbanásakor kémiai kifejezéssel cserebomlás jön létre:



Ekkor a finom eloszlású NaCl (konyhasó) jelentős mértékben csökkenti a robbanás hőmérsékletét, így a sújtólég robbanás lehetősége csökken.

Robbanóanyag gyártásánál keverék robbanóanyagok előállításánál fontos anyag oxigén hordozóként az ammoniumnitrát (NH_4NO_3), melynek magas hőmérsékletű bomlásakor a lejátszódó reakció a következő:



Az így felszabaduló oxigénnel a robbanási füstgázok összetételét, valamint a robbantás hatását is befolyásolják.

3. Savak, lúgok és inert vegyületek

A hetedik oszlopba tartozó elemek, és néhány fém (nemes fémek: Au-arany, Ag-ezüst, Pt-platina...) kivételével minden elem hajlandó az oxigénnel vegyületet alkotni. Az első oszlopba tartozó fémekkel keletkezett oxidok jól, a második oszlopba tartozóakkal keletkező oxidok kevésbé jól oldódnak vízben, és a fémhez kapcsolódó OH csoport miatt az oldással lúgok keletkeznek. A nem fémes elemekkel alkotott oxidok szintén jól oldódnak vízben, és savak keletkeznek. Ugyancsak savak keletkeznek a hetedik oszlopban lévő elemek és a hidrogén reakciója során. Mind a lúgok és mind a savak vizes oldatukban ledisszociálódnak, és a disszociáció mértéke jellemző a savak és a lúgok erősségére. A disszociáció során az oldatban hidrogén ionok keletkeznek, és a szabad hidrogén ionok koncentrációjának negatív logaritmusát, a pH értékkel lehet jellemezni egy oldat savasságát, vagy lúgosságát. A pH érték 0 és 14 közötti szám lehet, a semleges oldatok pH értéke 7, a lúgos oldatok pH értéke ennél nagyobb, a savaké pedig kisebb. A savasság illetve a lúgosság meghatározására olyan színes vegyületeket használnak, melyek megadott pH értéknél színtelenné, vagy más színűvé válnak. Az ilyen vizsgálatoknál például egy lúgos oldathoz pontosan adagolható és mérhető savas oldatot csepegtetnek, és meghatározzák annak mennyiségét a szín átcsapás esetére. Az adagolt sav mennyiségéből a lúgosság így meghatározhatóvá válik. Az egyik leggyakrabban használt oldat a lakmusz, mely a piros színét pH=7 értéknél veszíti el. Ezeknek az indikátoroknak a vizes oldatát ha az indikátor egy molekulányi mennyiségét egy liter vízben oldják, „1 mol”-os oldatnak hívják. A

pontos elemzésekhez szokás a tized molos, vagy más tört molos oldat használata is.

Gyors mérések esetére olyan indikátorral átitatott papírcsíkot használnak, melynél az indikátor csík színe az oldat pH értéke szerint változik, és így az indikátorhoz mellékelt színskálával összehasonlítva az oldat pH értéke azonnal megállapítható.

A lúgokat és a savakat ha egymással reagálni hagyjuk, általában a lúgra és a savra jellemző só vizes oldata keletkezik. A legismertebb só a konyhasó, melynek keletkezése a következő:



Ebben az esetben egy erős lúg (NaOH) és egy erős sav (HCl) hatására a keletkező konyhasó oldat kémhatása neutrális (pH=7). Gyenge savak és erős lúgok esetén a keletkező só vizes oldata a disszociáció miatt lúgos kémhatású lesz. Ilyen enyhén lúgos kémhatású só a trisó (Na_3PO_4), melynek keletkezésére a következő jellemző egyenlet érvényes:



Az így keletkező trisót vízlágyítóként is használják, mert a disszociációja miatt a vízben lévő kevés CaCO_3 reagál az ledisszociált NaOH-val és jól oldódó Na_2CO_3 keletkezik, így a vízben kevésbé oldódó vízkő (CaCO_3) a melegítés során nem csapódik ki.

A földtörténet különböző koraiban jelenlevő savak és lúgok hozták létre a mészkő hegyeket kalciumkarbonát formájában, amelyek gyak-ran szennyezettek magnézium karbonátokkal és más fémek oxidokkal. Számos kőzet azonban a fémeket oxid formában tartalmazza, így például a vasoxidok a kőzeteket, vagy a talajt pirosra festik. Ugyancsak ezt a színt vehetjük észre az alumínium érce a timföld esetén is. Ismét más érceket, vagy azok vegyületeit tartalmazhatják a vulkáni tevékenységek miatt keletkezett kőzetek. Ezek gyakran a nagy nyomások hatására át is alakulhattak (metamorf kőzetek).

Egyes elemek, mint például a bór (B) és az alumínium (Al) oxidjai képesek savas és lúgos kémhatású vegyületeket is létrehozni. Ezeket kettős hatásuk miatt amfoter vegyületeknek hívjuk.

4. A szén vegyületei

A C (szén) az elemek között különlegesnek tekinthető első sorban azért, mert tetraéderben kristályosodik, és így a kristályok között a legkeményebb. Kristályának külön neve is van a gyémánt, mely minden anyag közül a legkeményebbnek számít, ritkasága miatt rendkívül értékesnek számít nagyobb

kristályai. Ipari méretű kristályait fémbe ágyazva fűrész, vagy fúró szegmensként is használják vasbeton tárgyak fűrészelésére, vagy fúrására. Van azonban egy másik kristály módosulata is, a hatszöges. Ezek a lapos kristályok egymáson könnyen elcsúsznak, és mint grafitot írószerként lehet használni.

Ennél a két tulajdonságánál jelentősebb azonban, hogy két szénatom hajlandó egymáshoz kapcsolódni egy, kettő, vagy akár három vegyértékkel is, és a megmaradó vegyértékek helyén hidrogént megkötni. Ilyen vegyület a C_2H_2 (acetilén), C_2H_4 (etilén), C_2H_6 (etán), de négy hidrogént is képes felvenni CH_4 (metán). Nemcsak két szénatom képes azonban egymáshoz kapcsolódni, hanem a szénatomok hosszú sort is alkothatnak, így keletkezhet a metán (CH_4), etán (C_2H_6), propán (C_3H_8), és további szénhidrogének, melyek képlete C_nH_{2n+2} . Az ilyen homológ soron kívül képes úgynevezett széngyűrűket is alkotni, melyek képletei: C_6H_6 (benzol), $C_{10}H_{10}$ (naftalin), $C_{14}H_{14}$ (antracén).

Az ilyen szénvegyületek hidrogénje számos kémiai gyökkel, vagy gyökökkel lecserélhető. Ezek közül vannak olyanok, melyek élettani szempontokból fontos emberi, vagy állati részekhez kapcsolódhat és azokat előnyösen befolyásolhatja. Ezek a gyógyszerek, és ezek gyártására alakult ki a gyógyszer ipar.

Ugyancsak a szénvegyületek azon tulajdonsága, hogy a homológ sorokhoz kapcsolt más vegyületekkel együtt a homológ sor ismétlődni képes, gyakran klór atomokat tartalmazó gyökökkel, alkotja a polimereket, melyek feldolgozására ismét más vegyipari ágazat alakult. Ezek égése többnyire mérgező gázokat tartalmaz.

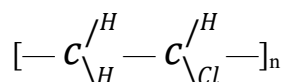
A hidrogén atomok helyére helyettesített nitrogén gyökök az alkotott vegyületek általában rendkívül gyors bomlását eredményezhetik, és ha ehhez a gyors égéshez szükséges oxigént is tartalmazó keveréket adagolnak, akkor robbanóanyag állítható elő. Az oxigén hordozó anyag legtöbbször az ammóniumnitrát (NH_4NO_3).

A szén atomokon kívül láncok képzésére a szilícium (Si) is képes, de jóval magasabb hőmérsékleten. Az olvadáshoz alkáli, földalkáli és más elemeket adagolva különböző üvegek állíthatók elő, amelyeknél a $Si-O_2$ láncok nem kristályosodnak, és szilárd állapotot hoznak létre szoba hőmérsékleten. Az ilyen nem kristályos, de nem is amorf állapotot üveges állapotnak nevezzük.

5. A vegyületek tapasztalati és szerkezeti képlete

Egyes vegyületek ipari felhasználásánál, de különösen a gyógyszer gyártásnál szükséges ismerni a vegyületek kémiai összetétele mellett azt is, hogy egyes vegyületcsoportok hogyan kapcsolódnak össze, vagy milyen módon lehet más vegyi anyaghoz kapcsolni. Különösen fontos lehet ez a polimerek esetén,

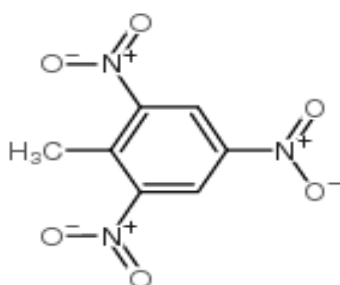
amikor egyszerűbb vegyületeket hosszabb láncú, egymást ismétlő csoporttá alakítjuk. A legismertebb polimer a PVC (polivinilklorid), mely a vinilklorid polimerizációjával nyerhető. A vinilklorid kémiai képlete C_2H_3Cl , polimerje pedig $(C_2H_3Cl)_n$, mely így összetétel szempontjából szinte semmit sem mutat. Szerkezeti képletével viszont összetétele világosabbá válik. Rendkívül kedvező felhasználhatósága miatt az ipar számos területén használják. Lebomlása azonban Cl (klór) tartalmú vegyületeket alkot, így a keletkező mérgező gázok környezetvédelmi problémákat hívnak létre.



5.1. ábra

A polivinilklorid szerkezeti képlete

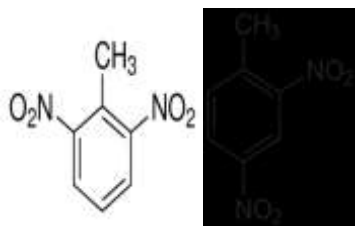
Egy ennél is bonyolultabb szerkezetű például a trinitrotoluol melynek képlete az összetétele szerint $C_7H_5N_3O_6$, melyből nem látszanak az NO_2 gyökök, melyek a benzolgyűrűhöz kapcsolva a trinitrotoluolt erős robbanóanyaggá teszik. Ezek az $-NO_2$ gyökök általában megjelennek a robbanó képes vegyületekben, így például a nitroglicerinen is.



5.2. ábra

A trinitrotoluol szerkezeti képlete

A trinitrotoluolt a toluol HNO_3 -mal (salétrom savval) való kezelésével állítják elő. A nitrálás során a trinitrotoluol mellett dinitrotoluol is keletkezhet, melynek két változata ismert az $-NO_2$ gyök elhelyezkedése szerint. Ezeket az 5.3. ábra tartalmazza.



5.3. ábra

A dinitrotoluol két módosulata a 2,6 dinitrotoluol és a 2,4 dinitrotoluol.

A trinitrotoluol és a két izomér dinitrotoluol olvadási pontja különbözik egymástól, ezért a keverékekkel a keverék olvadáspontja viszonylag széles hőmérsékleti határon belül tartható, így korábban a paxit nevű robbanóanyag előállításánál ezt előnyösen kihasználták.

6. A kémiai reakciók sebessége

A kémiai reakciók lejátsszódása időtől és különböző környezeti hatásoktól, így a hőmérséklettől, nyomástól és a reakcióban résztvevő anyagok koncentrációjától függ, de függ a reakcióban keletkezett vegyületek koncentrációjától is. A legegyszerűbb megfogalmazásban:

$$(6.1.) \quad v = \frac{dc}{dt}$$

Amennyiben a reakció A és B anyagok között játszódik le a



egyenlet szerint, és az anyagok koncentrációját a következő képpen jelöljük [A], [B] és [AB], akkor érvényes a következő egyenlet:

$$(6.3.) \quad v = \frac{d[AB]}{dt} = - \frac{d[A]}{dt} = - \frac{d[B]}{dt} = k[A] \cdot [B]$$

mely egyenlőségben k a reakciósebességi állandó.

Egyes reakciók nagy sebességgel végbe mehetnek, mint például az égések és a robbanások. Az égésnél a reakcióhoz szükséges oxigént a környezetből kell biztosítani. A robbanásoknál általában a reakcióhoz szükséges oxigént tartalmazó anyagot a robbanóképes anyaghoz keverik, így a reakció az égésnél lényegesen gyorsabban végbemegy. A robbanásoknál nem a reakciósebességet, hanem a kémiai reakcióban keletkező lökéshullám terjedési sebességét, a detonációs sebességet szokás meghatározni, egyben a robbanóanyagot is ezzel jellemezni.

7. A vegyületek képződési és bomlási hője

A vegyületek keletkezésekor a környezetbe hőátadás, vagy a környezetből hőelvonás következik. Ha a reakció hőt von el, vagy akkor jön létre, ha a reakcióban résztvevő anyagokat hevítjük, akkor ezt a reakciót endotermnek nevezzük. Ennek ellenkezője az exoterm reakció. Ez a hő a képződött vegyületben kémiai kötési energiaként jelentkezik és bomlási illetve kötési hőnek nevezzük.

A bomlási hő kiszámításához a kiinduló anyag és az bomlás végtermékeként keletkező anyagok képződési hőjét táblázatokból lehet kikeresni. A kiinduló oldal és a végtermékek kötési hőmérséklete közötti különbség a bomlási hő. Ezt a mennyiséget általában (például a robbanóanyag gyártásnál előállított termékekénél) 1 kg anyagra vonatkoztatva adják meg.

8. A vegyületek megjelenési formái, kristályos és amorf anyagok

Normál (szoba) hőmérsékleten a vegyületek gáz, folyékony és szilárd halmazállapotúak lehetnek. A halmazállapotot hűtéssel, vagy hevítéssel változtatni lehet. Hűtéssel (és esetleg a nyomás változtatásával együtt) a gáz halmazállapotú vegyületek, vagy elemek előbb cseppfolyós, majd szilárd halmazállapotot is felvehetnek. Ekkor a periódusos rendszerben elfoglalt oszlopnak megfelelő tulajdonságot vehetik fel. A H_2 gáz például mélyhűtött állapotban az alkáli fémek tulajdonságát mutatja. A folyadékok ugyanígy szilárd halmazállapotúvá tehetők, és ekkor többnyire kristályokat alakítanak. A szénhidrogének többsége azonban nem vesz fel kristályos állapotot, ahogyan a belőlük előállított polimerek sem. Ezek állapotát amorf állapotúnak nevezzük.

A kristályos állapotba került anyagok tizenkét kristály állapotot vehetnek fel. A kristály képződésekor általában úgynevezett kristályvíz is tartozhat, bár ez nem feltétlen szükséges. A kristályvíz óvatos hevítéssel eltávolítható. Az így hőkezelt anyag nemcsak a kristályvizét hajlandó gyakran felvenni, hanem megkötöthet más anyagokat, vagy oldószereket is. Ezeknek az anyagok ilyenkor nagy felületet vehetnek fel, mely a vízen kívül más anyag megkötésére is alkalmas. A szilikagél egy gramja akár 400 m^2 , a gyógyászatban használt aktív szén felülete pedig 600 m^2 is lehet gramonként.

A földtörténeti korokban kialakult kőzetek kristályai erősen függnek a kialakuláskor meglévő hőmérséklettől, nyomástól és attól, hogy valamilyen oldószer (többnyire víz) mennyire befolyásolta képződésük körülményeit. A mészkövekből kialakuló képződmények a barlangok többségében még napjainkban is tanulmányozhatók.

9. Oldatok, krémek, emulziók

A szilárd anyagok közül szinte mindnek van oldószere. A leggyakrabban használt oldószer a víz. A vízben történő oldhatóság lehetővé teszi, hogy a vegyületek többsége ledisszociál és lúgos, vagy savas kémhatást vesz fel. Jól megválasztott reagenssel ekkor titrálással a vízben oldott anyag összetételére is következtetni lehet. Természetesen ugyanígy más oldószer használatával és megfelelő reagenssel az oldatban lévő vízben nem oldható anyag is meghatározható, így az anyag kvalitatív (milyen anyagok szerepelnek az

oldatban), vagy kvantitatív összetétele (az oldatban szereplő anyagok százalékos összetétele) meghatározható. A szilárd anyagok mellett természetesen a folyékony anyagok és a gázok is oldhatók vízben, vagy valamilyen oldószerben, így azok elemzése is elvégezhető.

Az anyagok oldása hőelvonással, vagy hő termeléssel járhat. Az oldat melegítésével általában jelentősen megnőhet az oldószerben oldott anyag mennyisége. Kristályos anyagok az oldószer elpárolgatásával visszanyerhetők az oldószerből. Az oldószer elpárolgatásának sebessége befolyásolja a képződő kristályok nagyságát, így nagyon lassú párolgatással akár úgynevezett egykristályok is nyerhetők, melyek anyagok fizikai, műszeres elemzésénél használhatók. Gyors párolgatásnál viszont mikrokristályos anyag nyerhető, mely egyes kémiai anyagok előállításánál kedvező.

Nem oldódó finom porok folyékony anyagokhoz keverve krémek nyerhetők, melyek egy része az élelmiszer iparban is használható. Nagyobb mennyiségben azonban a szerves anyagokhoz adalékként kevert kisebb-nagyobb mennyiségű porokkal javított minőségű krémek zsírokként, illetve kenő anyagként használhatók, ahol fémes anyagok egymáson történő elcsúszása következik be, így például csapágyaknál, fém perselyekben mozgó tengelyeknél.

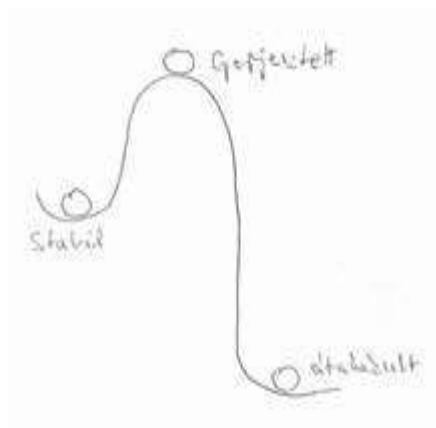
Az olyan, oldószerben nem oldódó folyékony, vagy krémszerű anyagok, melyek adalék anyagokkal finom eloszlású keverékké tehetők az emulziók. Ilyen emulzió a tej is, melynek zsírtartalma megváltoztatható. Zsírok vizes oldata is előállítható megfelelő adalékokkal és hőkezeléssel. Ugyancsak létrehozható, hogy az ilyen emulzióban légbuborékok is keletkezzenek. Robbantástechnikai szempontból újabban nagyon elterjedtek az emulziós robbanóanyagok, amelyek ammóniumnitrát vizes oldatába emulzióként bevitt ásványi olaj és zsír mellett olyan adalékot is tartalmazhat, melynek hatására az emulzióban finom eloszlású gázbuborékok is keletkeznek. A gázbuborékok lehetővé teszik a keltett lökéshullám terjedését, így az emulzió robbanó-képessé válik. Technikailag megoldható az is, hogy az emulzió két elkülönített tartályban szállítható. A két anyag közvetlenül a robbantáshoz előkészített lyukba szivattyúzható, és ekkor jönnek létre a gázbuborékok is, tehát az emulzió a lyukba pumpáláskor lesz robbanó anyaggá. A kémiai úton keltett gázbuborékokra hat a töltet hosszától függő hidrosztatikai nyomás, így hosszú töltetek esetén a gáznyomás növekedése miatt a lökéshullám a töltetet már nem képes felrobbantani. Ha ennek veszélye fennállhat, akkor a kémiai úton keltett buborékok helyett kis átmérőjű műanyag, vagy üveg gyöngyöt alkalmaznak a robbanóképesség fenntartására.

III. Könyvrész

A robbantó ipar

1. Robbanás, égés, fizikai-kémiai robbanás, robbantás

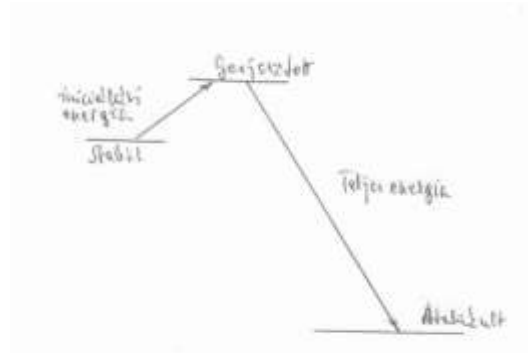
Az ember által még nem érintett és az ember által már részben, vagy egészben átalakított természet örök mozgásban van, aminek az oka a természetben, vagy az ember által létrehozott környezetben keltett erőhatások működnek. Létrejöhetnek azonban olyan állapotok is amikor az erőhatások nem tudnak valamilyen ok miatt mozgást létrehozni, vagy az emberi akarat kényszeríti olyan állapotba, hogy az erőhatások ne hozzanak létre mozgást. Ezekben az esetekben az anyagban feszültségek keletkeznek, melyek energia felhalmozódásához vezetnek. Ha ez az energia valamilyen módon felszabadul, vagy felszabadítjuk, munka-végzés keletkezhet, és ha ez nagyon gyorsan megy végbe robbanásról beszélhetünk. Ilyen esetben általában megváltozik az anyag szerkezete, sőt gyakran a kémiai összetétele is. Ilyen robbanás lehet például a gleccserről leszakadó jéghegy, amikor is a jég darabokra törhet, ilyen robbanás az urán átalakulása az atombombában, amikor is az urán atommagok más atomokra hasadnak, de ilyen átalakulás jöhet létre kémiai átalakuláskor is. Ezekre az átalakulásokra jellemző a hő felszabadulás. Az átalakulás ilyen esetekben általában az anyag belsejében kezdődnek egy viszonylag kis térfogatban, és innen kiindulva egyre több helyen hoznak létre átalakulást a szomszédos rétegekben, azaz a kezdeti átalakulási góc megsokszorozódik. Ha ez a sokszorozódási tényező egy, vagy egynél nagyobb akkor akkor ez a folyamat mindaddig fennmarad, amíg a teljes anyag át nem alakul, vagy a sokszorozódási tényező egy alá nem csökken, amikor is az átalakulás leáll. Energetikailag ezeket az állapotokat úgy tudjuk szemléletesen elképzelni, hogy az anyag egy domb tetején lévő mélyedésben van, ahonnan valamilyen módon a mélyedés peremére kényszerítjük ezt a golyót, ahonnan az a domb oldalán legurulva a potenciális energiáját mozgási energiává, a domb aljára leérve pedig munkavégzéssé alakítja. Ezt szemlélteti az 1.1. ábra. Az így szemléltetett állapotot az úgynevezett



1.1. ábra

A stabil, gerjesztett és átalakult állapot szemléltetése

termrendszerrel szokás ábrázolni, ahol a termék közötti távolság az energia nagyságát is jellemzi. Egy ilyen sematikus ábrázolás az 1.2. ábrán látható például egy robbanóanyag kémiai átalakulására. Az ilyen termrendszer azonnal



1.2. ábra
Egy kémiai átalakulás termrendszere

utal arra, hogy a stabil és gerjesztett állapot között mekkora energiát kell befektetni ahhoz, hogy a teljes energiát fel tudjuk szabadítani, azaz a robbanóanyag mennyire stabil. A gyakorlatban ez úgy is jelentkezik, hogy a robbanóanyag indítható-e gyutaccsal, vagy a gyutacsnál erősebb indítással kell létrehozni a robbanást. A gerjesztett és az átalakult állapot között felszabaduló energiát lehet hasznosítani, amit többféle módon is megadhatnak a gyártók.

A kémiai átalakulás a robbanóanyagok esetén oxidáció, mely különbözik az egyszerű égéstől. Az égés létrejöttének három feltétele van: az égő anyag, a gyúlési hőmérséklet és az égéshez szükséges oxigén. Ha mindhárom jelen van, akkor az égő anyag oxidációja megindul, ezekből a füstgázok képződnek, melyek az égő helyről eláramolnak. Az égés terjedése és a füstgázok áramlási iránya általában ellentétes. Az égés tovaterjedése erősen függ az égő anyag oxidálódási képességétől, és attól, hogy az oxigén áramlása az égési helyhez milyen nagy. Ezekből a feltételekből azonnal kikövetkeztethető, hogy az égés felgyorsítható, ha az égő anyaghoz azonnal olyan oxigénhordozó anyagot adunk, mely az égés hőmérsékletén bomlik és oxigént ad le. Az ilyen módon létrehozott gyors égés robbanásba mehet át. Ekkor az égés sebessége az 1000 m/s értéket meghaladja, és a gyors nyomásnövekedés a robbanóképes anyagban lökéshullámot hoz létre, mely adiabatikus kompressziót eredményez az anyag még nem érintett gázzárványában, és így a robbanást fenntartja.

A kémiai robbanás feltétele az előbbiek szerint az égőanyag és az oxigénhordozó együttes jelenléte, továbbá az, hogy a robbanóanyagban olyan nagy lökéshullámot lehessen kelteni, mely képes adiabatikus kompresszió útján a robbanóanyagot a reakciók fenntartásához szükséges hőmérsékletre felmelegíteni. Ez utóbbi feltétel akkor teljesül, ha a robbanóképes anyagban gázzárványok vannak jelen. A lökéshullám és a gázzárványok együttes szerepe, hogy a robbanóképes anyagban létrehozott lökéshullám a gázzárványban magas hőmérsékletű adiabatikus kompressziót hozzon létre. Porózus anyagok esetén ez a feltétel viszonylag könnyen teljesül. Öntött szilárd, vagy folyadék

robbanóanyagok esetén ez a feltétel csak akkor teljesül, ha a lökéshullám olyan nagy nyomású és magas hőmérsékletű, hogy a szilárd illetve a folyadék robbanóanyagban elpárolgó gócek keletkezhetnek (kavitáció), és ezek gőzében létrejöhet akkora adiabatikus kompresszió, mely a kémiai átalakulást képes fenntartani. Ez az oka annak, hogy az öntött vagy folyadék halmazállapotú robbanóanyagokat általában erős indítással lehet felrobbantani.

A robbanóképes anyagokat az iparban valamilyen nagy nyomás gyors létrehozására használjuk, többnyire valamilyen anyag megbontására. A talajrétegek elhelyezkedésének felderítésére, többnyire szénhidrogének kutatására is használják, amikor is a robbantással keltett hullámok viselkedéséből következtetnek a rétegek elhelyezkedésére. Az ipari felhasználástól a katonai felhasználás lényegesen eltér. Mindhárom esetben a robbanóképes anyag kívánt felhasználása történik. Ezt az eljárást nevezzük robbantásnak. Nem robbantás a nem kívánt robbanás, melyek esetenként szerencsétlenséghez vezethetnek.

2. A robbanóanyagok

A robbanóanyagokat mint veszélyes anyagokat gyártani és forgalomba hozni csak hatósági engedéllyel lehet. Az engedélyező hatóság az engedélyt kérelemre adja ki, melynek tartalmazni kell a gyártani, vagy forgalomba hozni kívánt robbanóanyag jellemzőit. Ezeket a jellemzőket a műszaki követelményekben rögzítik. Fontosabb robbanóanyagok esetén a műszaki követelmények alapján szabvány is készülhet. A robbanóanyagok jellemzőit elismert vizsgáló állomáson végzett előírt vizsgálati módszerrel, vagy szabványosított mérési eljárással határozzák meg. Ezek a vizsgálati eredmények a kérelem alapja. A külföldről behozott robbanóanyagok esetén az engedély kiadásánál a hatóság eltekinthet a magyarországi vizsgálatoktól, ha a robbanóanyag gyártását és forgalomba hozatalát vizsgálatokkal alátámasztva adtál ki. Ilyen esetben a külföldön kiadott engedélykészes olyan magyar nyelvű fordítását kell a kérelemhez mellékelni, mely alapján a kérelem elbírálható legyen.

A kiadott gyártási és forgalomba hozatali engedély alapján a gyártónak szavatolni kell a műszaki követelményekben rögzített tulajdonságokat, gyártásközi ellenőrzéssel ezek egy részét vizsgálni kell, és szállításkor ezeket a mérési eredményeket meg kell adni, vagy hivatkozni kell arra, hogy a robbanóanyag milyen jelű engedélynek tesz eleget.

2.1. A robbanóanyagok jellemzői

A robbanóanyagok gyártása során a gyártási és forgalomba hozatali engedélyben megadott tulajdonságokat ellenőrizni kell és azoktól eltérni nem szabad. Ezek a főbb jellemzők:

kémiai tulajdonságok: kémiai összetétel

fizikai tulajdonságok: külalak
sűrűség

hőtűró képesség
vízállóság

robbanási tulajdonságok: detonációs sebesség
indíthatóság

ólomhenger torlasztás (Hess-próba)
öblösödés ólomhengerben (Trauzl-próba)
robbanási hő (számított érték)
gáztérfogat
ütésérzékenység
dörzsérzékenység
oxigénegyenleg

2.2. A robbanóanyagok vizsgálata

A vizsgálatok részletes ismertetése helyett csupán nagyvonalú ismertetésre lehet itt kitérni. A vizsgálatok menetét és eredményeinek közlését a vizsgálati szabványok, vagy a vizsgálati előírások tartalmazzák.

2.2.1. Mintavételezés

A vizsgálatra kerülő anyagból véletlenszerűen, több dobozból vesznek mintát törekedve arra, hogy a kivett minta minőség és mennyiség szerint jellemző legyen a vizsgálatra kerülő teljes mennyiségre. A mintavételezés során a vizsgálatokhoz szükséges mennyiséget veszik ki a dobozokból.

2.2.2. A kémiai összetétel vizsgálata

A robbanóanyagot vízben és szerves oldószerben oldva két, vagy több részre osztják. Az oldott részeket titrálják és a titrálás eredményéből következtetnek az összetételre.

2.2.3. A külalak vizsgálata

Szemrevételezéssel vizsgálják, hogy a kiválasztott minta színe, állaga, a töltény nagysága és csomagolása megfelel-e a műszaki követelményekben megadott jellemzőknek.

2.2.4. A sűrűség vizsgálata

A vizsgálat során egy speciális mérleggel megméri a robbanóanyag töltényének súlyát és a vízbe mártott töltény súlyát. A kettő különbsége a kiszorított víz súlya, azaz a töltény térfogata. Ennek megfelelően a robbanóanyag sűrűsége:

$$(2.1.) \quad \rho = \frac{G}{G - G_{\text{víz}}}$$

ahol G a töltény súlya és $G_{\text{víz}}$ a vízbe mártott töltény súlya.

2.2.5. A hőtűrő képesség vizsgálata

A vizsgált robbanóanyag kis térfogatát kémcsőbe helyezik, melyet vízfürdőn keresztül melegítenek. Ha a robbanóanyagból a bomlása miatt valamilyen gáz keletkezik, akkor a vízfürdő hőmérsékletét leolvassák és ezt adják meg a robbanóanyag hőtűrő képességéként.

2.2.6. A vízállóság vizsgálata

A vizsgálathoz egy robbanóanyag töltényen hosszanti irányban bemetszéseket készítenek, és ezt a töltény a gyártó által megadott víznyomás alá helyezik a gyártó által szavatolt vízállósági időtartamig. Az így víz alatt tartott töltény megkísérlik indítani. Ha indítható a töltény és maradék nélkül felrobban, akkor a robbanóanyag víz álló a megadott nyomásig és időtartamig.

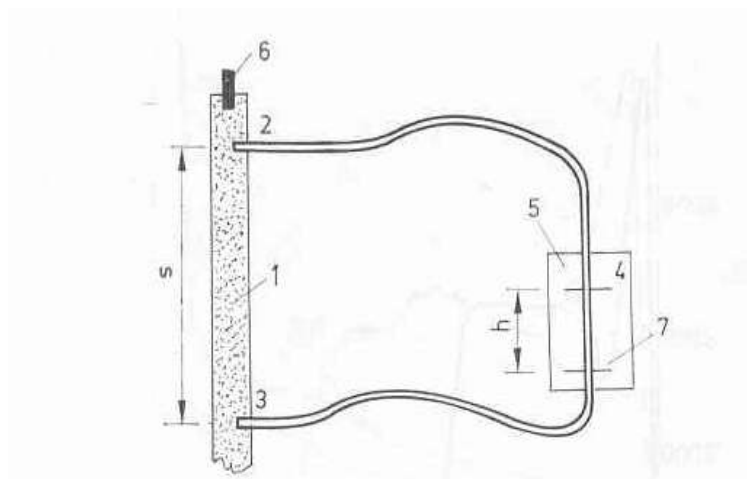
2.2.7. A detonációs sebesség mérése

A detonációs sebesség mérésének klasszikus módja a Dautriche féle eljárás. Ekkor a robbanóanyagba ismert detonációs sebességű robbanóanyag szálat (általában nitropenta töltetű robbanózsinórt) helyeznek a 2.1. ábra szerint, és megjelölik ennek felezési pontját. A robbanózsinór alá ólom, vagy alumínium lemezt tesznek. A robbanóanyagot felrobbantva a robbanózsinór is indul mindkét végén, melynek találkozási pontja jól látható nyomot hagy az alátétlemezen. A s és a h távolságok ismeretében a robbanóanyag detonációs sebessége:

$$(2.2.) \quad D = \frac{s}{h} * D_{\text{ismert}}$$

Az elektronikus mérési lehetőség a napjainkban gyakrabban használt. Ekkor a robbanóanyagba két szondát helyeznek el és mérik a robbanás hatására működő két szonda működése közti időt. Az elrendezés a 2.2. ábrán látható.

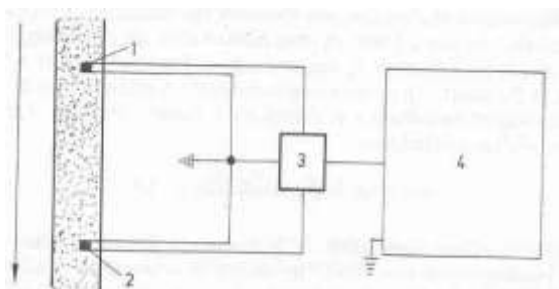
Az elektronikus mérési lehetőség a napjainkban gyakrabban használt. Ekkor a robbanóanyagba két szondát helyeznek el és mérik a robbanás hatására működő két szonda működése közti időt. Az elrendezés a 2.2. ábrán látható.



2.1. ábra

A detonációs sebesség mérése Dautriche módszerrel

1. a vizsgált robbanóanyag, 2. és 3. a robbanózsínör beillesztése a robbanóanyagba, 4. a robbanózsínör felezési pontja, 5. alátét lemez, 6. gyutacs, 7. a robbanózsínör robbanásának találkozási pontja, s a robbanózsínör két vége közti távolság, h a felezési pont és a robbanás találkozási pontja közötti távolság



2.2. ábra

Az elektronikus detonációs sebesség mérési elrendezése

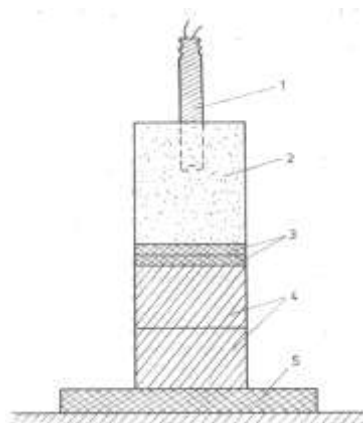
1. és 2. a szonda, 3. a kapuáramkör, 4 számláló.

2.2.8. Az indíthatóság vizsgálata

A felhasználó szempontjából fontos információ. A vizsgálatot általában más vizsgálattal összevonják. A műszaki követelményekben rögzíteni kell, hogy a robbanóanyag gyutaccsal, vagy milyen súlyú indítótöltettel indítható.

2.2.9. Hess-próba

Ólomhengeres torlasztásos próba. A vizsgálati elrendezés a 2.3. ábrán látható. A robbanóanyagot acéltárcsákra helyezik. Ezek alá a tárcsák alá



2.3. ábra

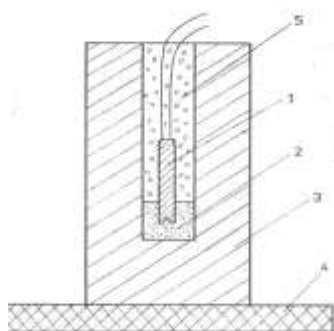
A Hess-féle torlasztásos vizsgálat elrendezése

1. gyutacs, 2.a vizsgált robbanóanyag, 3. acéltárcsák 4. ólomhenger, 5.acél alátét

kerül az ólomhenger. A gyutacs elrobbantása után meghatározzák az ólomhenger összenyomódását.

2.2.10. Trauzl-próba

Egy ólomhenger furatában helyezik el a gyutaccsal ellátott robbanó-anyagot, melyet homokkal fojtanak. A robbantás után meghatározzák az ólomhenger öblösödését, mely a robbanóanyag munkavégző képességére jellemző. A Bányászati Kutató Intézetben ólomhenger helyett alumínium hengert használtak ehhez a vizsgálathoz, mely magyar módszerként vált ismertté a robbantástechnikai szakirodalomban. A vizsgálati elrendezés magyar módja a



2.4. ábra

A Trauzl-próba alumínium hengeres elrendezése

1. gyutacs, 2. robbanóanyag, 3. alumínium henger, 4. acél alátét, 5. homok fojtás

2.4. ábrán látható.

2.2.11. A robbanási hő meghatározása

A robbanási hőt számítással határozzák meg. A számításához felírják a robbanás során lejátszódó kémiai átalakulás egyenletét. A keletkezett gáztermékek és a robbanóanyag képződési hőjét kémiai táblázatokból meghatározzák. A kettő különbsége a felszabaduló hőmennyiség, mely jellemző a robbanóanyag energia tartalmára.

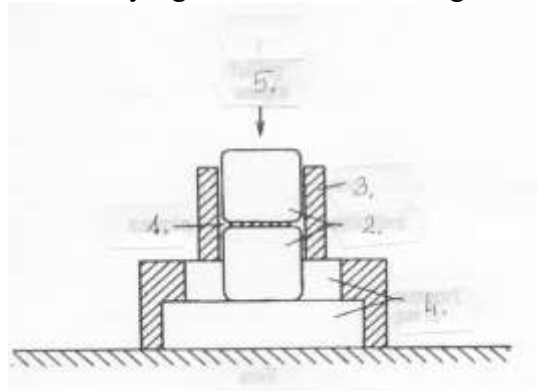
2.2.12. A gáztérfogat és a mérgező gáz tartalom meghatározása

A robbanóanyag meghatározott mennyiségét egy nagyobb nyomásálló edényben felrobbantják és mérik a tartályban a nyomás növekedését. A megnövekedett nyomás ismeretében kiszámítják azt a gáztérfogatot, mely a nyomásváltozást eredményezte, és ezt 1 kg robbanóanyagra számolják és adják meg jellemzőként.

A robbantás után a robbanási füstgázokból meghatározott mennyiséget vesznek, melyet elemeznek. Az elemzéssel a szénmonoxid és a nitrózus gáz tartalmat határozzák meg mennyiségi analízissel. A kettő együttes mennyiségét adják meg 1 kg robbanóanyagra mint mérgező gáz tartalmat.

2.2.13. Az ütésérzékenység vizsgálata

A robbanóanyagok ütésérzékenységét ejtőgépben vizsgálják. Az ejtő-súlyt a 2.5. ábrán látható két henger közé rétegzett robbanóanyagra ejtik. A vizsgálat eredményeként az ejtési magasság és az ejtési súly szorzatát adják meg. A robbanóanyagok ütésérzékenysége a kezelési biztonságra



2.5. ábra

Az ütésérzékenység vizsgáló berendezésben a robbanóanyag elhelyezése 1. a robbanóanyag réteg, 2. acél hengerek, 3. központosító henger, 4. acél alátét és központosító, 5. az ejtősúly mozgásiránya

jellemző fontos paraméter.

2.2.14. A dörzsérzékenység vizsgálata

Ennél a vizsgálatnál a robbanóanyagot vékony rétegben egy mázatlan kerámialapra terítik. Erre helyezik rá egy súllyal ellátott mozgatható karra

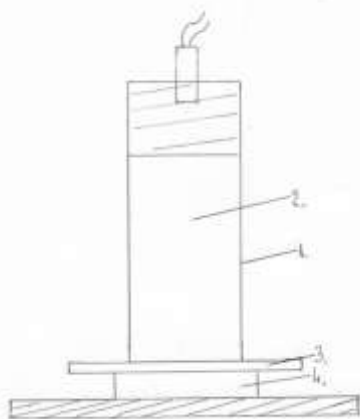
szerelt kerámia tűskét, amelyet a robbantóanyag rétegen végighúznak. Ha a súrlódás hatására a robbanóanyag bomlik a kerámia lapon észlelhető égésnyom keletkezik. A robbanóanyag súrlódással szembeni érzékenységeként a mozgó karra szerelt súlyt adják meg.

2.2.15. Az oxigén egyenleg meghatározása

A robbanóanyag oxigénegyenlegét számítással határozzák meg. A robbanásnál bekövetkező kémiai átalakulásnál ha oxigén is szabadul fel, akkor az oxigén egyenleg pozitív, ha az átalakuláshoz a környezetből nyert oxigén is szükséges, akkor az oxigénegyenleg negatív. Negatív oxigén egyenlegű robbanóanyagok robbanásakor a mérgezőgáz tartalom nagyobb, mint pozitív oxigén egyenlegű robbanóanyagoknál, ezért negatív oxigénegyenlegű robbanóanyagot mélybányában nem szabad robbantásra használni, mely alól csak az indító töltény kivétel.

2.2.16. Gyutaccsal nem indítható robbanóanyagok munkavégző képességének vizsgálata

Mivel a gyutaccsal nem indítható robbanóanyagokat értelemszerűen sem a Hess-féle, sem a Trauzl-féle módszerrel vizsgálni nem lehet, ezért új eljárást kellett kidolgozni. Az új eljárást Németországban fejlesztették ki. Ennél az eljárásnál meghatározott minőségű acélcsőbe töltik a vizsgálandó robbanóanyagot és az indító töltetet. Ezt a 2.6. ábra szerinti



2.6. ábra

Gyutaccsal nem indítható robbanóanyag munkavégző képességének meghatározására kifejlesztett vizsgálati eljárás

1. acél cső, 2. a vizsgálandó robbanóanyag az indító töltettel, 3. acéllap, 4. csőalátét

ugyancsak meghatározott minőségű acéllapra állítják, mely alá egy, a vizsgálandó robbanóanyagot tartalmazó csőnél nagyobb átmérőjű csövet helyeznek. A robbanóanyagot felrobbantják és megméri a behorpadás mélységét. Ha a 3 jelű lap a vizsgálatkor átszakad, akkor a vizsgálatot vastagabb

acéllemezzel megismétlik. A horpadás mélysége és az acéllap vastagsága együtt jellemző a robbanóanyag munkavégző képességére.

2.3. A robbanóanyagok osztályozása

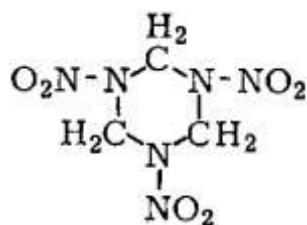
A robbanóanyagok osztályozása több szempontból is történhet, így halmazállapot, gyutaccsal indíthatóság, sujtólég biztosság szerint. Ebben a könyvben az osztályozást primer és szekunder robbanóanyagok szerinti osztályozásra kerül sorra, ezek közül is csak a leggyakrabban használtak ismertetésére van mód.

2.3.1. Primer robbanóanyagok

A primer robbanóanyagok egyetlen kémiai vegyületek. Ezeket általában kisebb mennyiségben és speciális robbantási feladatok elvégzésére használják.

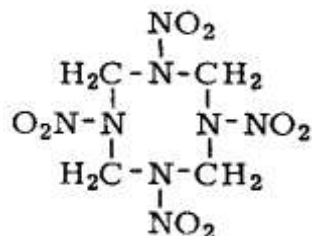
2.3.1.1. Hexogén

Szintelen kristályos anyag, amelynek sűrűsége $1,82 \text{ g/cm}^3$. Oxigén egyenlege - 21,6%. Robbantási gáztérfogata 903 l/kg. A magas, 204°C olvadáspontja miatt szénhidrogén kutatásban is használják perforátorok tölteteként. Nagy a detonációs sebessége: 8750 m/s. Vékony rétegben is robbanóképese. Kritikus átmérője 8 mm. Ütésérzékenysége: 7,5 Nm. Szerkezeti képlete az alábbi.



2.3.1.2. Oktogén

A hexogénhez hasonlóan szintelen kristály. Szerkezeti képlete:



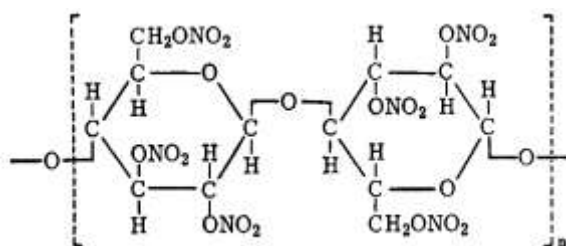
Oxigénegyenlege erősen negatív: -21,6%. Robbantási gáztérfogata 902 l/kg. Olvadáspontja 275°C , magasabb mint a hexogéné, ezért szénhidrogén kutatásban még ott is alkalmazható, ahol a hexogén már nem. Detonációs sebessége nagy: 9100 m/s. Ütésérzékenysége: 7,4 Nm. kritikus átmérője: 8 mm.

2.3.1.3. Ólomazid

Vegyi képlete: $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$. Szintelen kristályos anyag, a gyutacsok fontos robbanóanyaga. Oxigén egyenlege negatív: -5,5%. Sűrűsége $4,8 \text{ g/cm}^3$. Gáztérfogata csak 231 l/kg. Detonációs sebessége: 5300 m/s. Erősen dörzsérzékeny, ezért a gyutacsokba semmilyen eszközzel belenyúlani nem szabad.

2.3.1.4. Nitrocellulóz

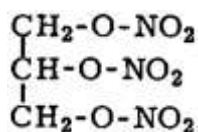
Fehér szálak formájában megjelenő anyag, amelynek szerkezeti képlete:



Oxigén egyenlege: -28,7%. Kritikus átmérője 20 mm. Ütésre rendkívül érzékeny: 3 Nm.

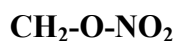
2.3.1.5. Nitroglicerín

Sárga olaj, amelynek oxigén egyenlege +3,5%. A dinamitok fontos alapanyaga. Ütésérzékenysége 0,2 Nm, ezért a robbanóanyag gyártásánál nagy elővigyázatosságra volt szükség. A sorozatos szerencsétlenségek miatt ma már gyártása erősen visszaszorult. Robbanási gáztérfogata 716 l/kg, sűrűsége: $1,59 \text{ g/cm}^3$. Detonációs sebessége: 7600 m/s. Vegyi szerkezeti képlete:



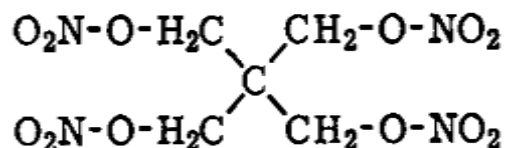
2.3.1.6. Nitroglikol

Szintelen olajos folyadék. Kevésbé érzékeny mint a nitroglicerín, ezért dinamitok gyártásánál előnyösen használták a nitroglicerín helyett. Oxigén egyenlege 0%. Robbantási gáz térfogata 737 l/kg. Sűrűsége $1,48 \text{ g/cm}^3$. Detonációs sebessége: 7300 m/s. Vegyi szerkezeti képlete:



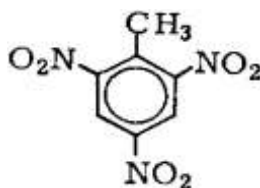
2.3.1.7. Nitropenta

Szintelen kristály, melynek oxigén egyenlege -10,1%. Robbanási gáz térfogata 780 l/kg. Detonációs sebessége 8400 m/s. A robbanózsínórok töltete. Vegyi szerkezeti képlete:



2.3.1.8. Trinitrotoluol (TNT)

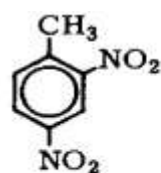
A legismertebb primer robbanóanyag és számos szekunder robbanóanyag alkotója. Kristályos állapotban sárga tűkristály. Olvadékból lemezes állapotba is kinyerhető. Leggyakrabban porszerű állapotban használják szekunder robbanóanyagok elkészítésére. Ekkor a megjelenés sárgás fehér por. Szerkezeti képlete az alábbi.



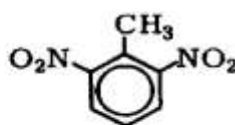
Robbanási gáztérfogata: 825 l/kg. Oxigén egyenlege erősen negatív: -73,9%, ezért füstgázaiból még elemi szén kiválás is lehetséges. A kristályos TNT sűrűsége 1,654 g/cm³, olvadáspontja pedig 80,6 °C. Detonációs sebessége 6900 m/s, kritikus átmérője 5 mm.

2.3.1.9. Dinitrotoluol (DNT)

Sárga tűkristályos anyag, melynek két izomérje van. A két izomér sűrűsége kissé különbözik: 2,4 izomér: 1,521 g/cm³, 2,6 izomér: 1,538 g/cm³. A két izomér olvadáspontja is különbözik. A természetes keverék Olvadáspontja: 35°C. Ütésérzékenysége: 50Nm, kritikus átmérője: 1 mm. A két izomér szerkezeti képlete:



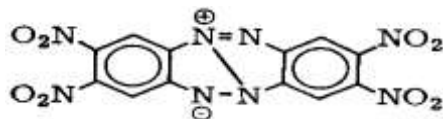
2,4-isomer



2,6-isomer

2.3.1.10. Tedilén

Magas olvadáspontja (378°C) miatt a nagymélységű szénhidrogén kutakban előnyösen alkalmazzák. Megjelenési formája: narancssárga vagy vörös kristályok, melyeknek detonációs sebessége: 7250 m/s, oxigén egyenlege: -74,2%. Szerkezeti képlete az alábbi:



2.3.1.11. Ammóniumnitrát

Az ammóniumnitrátot, melynek vegyi képlete NH_4NO_3 , leggyakrabban a szekunder robbanóanyagok előállításánál alkalmazzák, mint oxigénhordozót, mivel oxigénegyenlege: 19,99%. Kristályos állapotban szintelen. Ismert prill állapota, mely enyhén szürkés fehér gömb állagú. A prill egyik fajtája porózus, melyből olaj hozzáadásával olcsó robbanóanyag készíthető. A nem porózus prill, mely ismert műtrágya, és olaj keverék szintén egyszerű robbanóanyag. Az ammóniumnitrát robbanási gáztérfogata: 980 l/kg.

2.3.2. Szekunder robbanóanyagok

A szekunder robbanóanyagok vagy valamilyen primer robbanóanyag és oxigénhordozó, többnyire ammóniumnitrát, keveréke, vagy ammóniumnitrát és valamilyen égő anyag, mely többnyire olaj, keveréke. A keveréket többnyire úgy állítják össze, hogy az oxigénegyenleg pozitív legyen. Az egyszerű robbanóanyagok gyakran nem indíthatók gyutacs-csal. Ezek indítására gyakran egy, vagy két primer robbanóanyagból készített préstestet használnak. Ezeket is szekunder robbanóanyagoknak kell tekinteni.

2.3.2.1. Dinamitok

A dinamit féleségek alapanyaga a nitroglicerín, vagy a nitroglikol, és a hozzáadagolt ammóniumnitráttal az oxigénegyenleget pozitív értékűre állították be. A robbanóanyagok tartalmaztak valamilyen plasztifikáló adalékot, amellyel a nagyon jó vízállóságot lehetett elérni. Ezeknek a robbanóanyagoknak nagy a detonációs sebességük, ezért különösen kemény kőzetek és beton építmények robbantásánál lehetett eredményesen használni. Annak ellenére, hogy nitroglicerín tartalmú robbanóanyagok plasztikusak voltak, nem tanácsolták a töltények kézzel való alakítását, mivel a nitroglicerín a bőrön keresztül felszívódhatott, így káros élettani hatásokat, többek között vérnyomás csökkenést válthatott ki. Ennek a hatásnak a csökkentésére cserélték le Ausztriában a nitroglicerint nitroglikolra, és az így készített robbanóanyagok káros élettani hatása is lényegesen kisebb lett.

A hazánkban gyártott dinamitok Nidin néven kerültek forgalomba. Nitroglicerintartalmuk alapján az elnevezés után a 33, 40, 50, 60 és 80 szám került. A növekvő szám növekvő nitroglicerintartalomra és egyben növekvő robbanásfizikai jellemzőkre is utalt. A nitroglicerint gyártásban bekövetkezett robbanás okát még ma sem sikerült megtalálni, ezért a hazai gyártás valószínű most már véglegesen beszüntették.

A magyar gyártású nitroglicerines robbanóanyagok pótlására hozták be az országba az NDK-ból származó Gelamont, az NSZK-ból származó Wetter Aritot, Wetter Nobelitot és Wetter Roburitot, Ausztriából pedig a különféle összetételű, jelű és felhasználhatóságú Gelatin Donaritokat.

A sorozatos üzemi balesetek miatt, valamint viszonylag veszélyes keze-lésük miatt ezeket a robbanóanyagokat egyre jobban felváltják az emulziós robbanóanyagok, gyártásuk vagy megszűnt, vagy minimálisra csökkent, és forgalomba alig kerülnek.

2.3.2.2. Lőporok

A bányászatban legrégebben használt robbanóanyagok. Bányászati robbantási céllal először Európában, és lehet, hogy először a világon, Weindl Gáspár használta Selmecbányán. A bányászati célú felhasználása napjainkra szinte kizárólag a tömbkő fejtésére korlátozódik. A lőporok használata mellett szól, hogy a gyors égésük csak ritkán megy át detonációba, ezért hatásuk kímélő. Katonai hasznosításuknál elsősorban ezt használják ki. A bányászatban szinte kizárólag a fekete lőport használják, melynek összetétele: 75% kálsalétrom, 10% kén és 15% faszén. A fekete lőpor a töltete a gyújtózsínórnak is. A lőport textil fonalakból készült és bitumennel átitatott néhány milliméter átmérőjű csőbe töltik. Ekkora átmérőben a lőpor nem robban, csak viszonylag lassan ég, és a végén szűrőlángot ad, mely elegendő a nem villamos gyutacs indítására.

2.3.2.3. A paxitok

Hazánkban a leggyakrabban használt robbanóanyag féleség volt. Összetételét tekintve a fő alkatrésze az ammoniumnitrát és a trinitrotoluol és a dinitrotoluol keveréke. A TNT-t és a DNT-t por alakban adagolják a keverékhez. A DNT adagolásával a TNT olvadáspontját le tudták csökkenteni, így a gyártás során homogén keveréket lehetett létrehozni. A fő alkotórészek mellett kis százalékban szerepeltek még más adalékok a keverék állagának javítására. A TNT és DNT valamint az ammoniumnitrát arányának függvényében gyártottak Paxitot, Paxit 3-t és Paxit IV-t. A sárgás fehér por alakú keveréket 100 g mennyiségben papír hüvelybe töltve, 1000 g-os mennyiségben pedig műanyag tasakba töltve hozták forgalomba mint töltényezett robbanóanyagot. Kőbányászati felhasználásra 25 kg-os zsákos ömlesztett robbanóanyag is került forgalomba. Ez azonban kizárólag Paxit volt.

A paxitok előnyös tulajdonsága volt a viszonylag nagy 4000 m/s érték körüli detonációs sebesség. Ütésérzékenysége nagyobb volt mint 30 Nm, így

biztonságos kezelhetőséget nyújtott. Előnyösen lehetett gyutaccsal nem indítható robbanóanyagoknál indító töltetként és erősítő töltetként használni. Annak ellenére, hogy számos kísérletet folytattak vízállóvá tételére, nem sikerült valóban vízálló paxitot előállítani, így megmaradt az a hátránya, hogy vizes munkahelyeken a vízállóvá tétele miatt csomagolni kellett, ami nem mindig sikerült maradéktalanul, így gyakran fennállt a robbanóanyag megállásának veszélye. Az emulziós robbanóanyagok elterjedésével egyre jobban kiszorult a robbanóanyag piacról.

2.3.2.4. Robbanóanyagok

Az 1970-es években megkezdődött cementgyári fejlesztések a kőbányászati nagyrobbantások fejlesztési igényét vonták maguk után. A gyakran rossz időjárási körülmények egyre jobban igényelték egy vízálló robbanóanyag fejlesztését. A Nitrokémiai Ipartelepeken így született meg a Niqva robbanóanyag. Ennél a robbanóanyagnál az am-moniumnitrát vizes oldatába TNT-t szuszpenzáltak, amikor s egy 3000 m/s detonációs sebességű, 1,3 g/cm³ sűrűségű robbanóanyagot kaptak, melynek ütésérzékenysége (12,5 Nm) is kedvezőnek mutatkozott. A robbanóanyag vízállósága kiváló volt, ennek ellenére nem tudott elterjedni a használata feltehetően ára miatt. Más országokban hasonló sikertelenség kísérte a robbanó anyagok gyártását.

2.3.2.5. Ammóniumnitrát dieselolaj, vagy fűtőolaj keverékek (ANDO, ANFO)

Az Amerikai Egyesült Államokban az ammoniumnitrát műtrágya higroszkópos tulajdonságát kevés olajbevonattal igyekeztek csökkenteni. Az így kezelt műtrágya véletlen robbanása mutatott arra, hogy egyszerű keverék robbanóanyagok létesíthetők ammoniumnitrát és égő anyag keverékkel. Így születtek meg a különböző egyszerű keverékek, az égőanyag fajtája szerint ANDO (dieselolaj adalék) és ANFO (fűtőolaj adalék). Hazánkban az ANDO előállítását először a Mecseki Ércbányák Vállalatnál (MÉV) végezték el és használták fel bányászati robbantás céljal. Ennek a keveréknek az alapanyaga egyszerű műtrágya és diesel olaj volt, innen származott az ANDO elnevezés is. Olcsósága, egyszerűsége a paxitok felhasználását erősen visszaszorította. A könnyű keverhetősége miatt a kőbányászati felhasználásoknál a helyszíni előállítás is tért hódított, mivel egyszerű betonkeverővel is elő lehetett állítani a MÉV által forgalomba hozott ANDO minőségének megfelelő robbanóanyagot. Ugyancsak a helyszíni előállítás mellett szólt, hogy a bányába nem robbanóanyag szállítás történt, hanem csak egyszerű, nem robbanóképes vegyszerek szállítása, a robbanóanyag előállítása az indítótöltet és az erősítő töltetek kivételével helyben történt. Ugyancsak a MÉV fejlesztéseinek köszönhető, hogy az egyszerű keverékhez alumínium por hozzáadásával az ANDO robbantási tulajdonságait növelni lehetett, sőt az eddig gyutaccsal nem indítható ANDO gyutaccsal indíthatóvá vált. A gyutaccsal indíthatóság tulajdonságot azonban óvatosságból szinte sehol nem használták ki, az aluporos ANDO robbantásához is legalább 10% indító töltetet és meghatározott (kb. 3 m) hosszú résztöltetek után erősítő tölteteket használtak.

A MÉV-nél előállított ANDO robbanóanyag tüzetes vizsgálatát a Bányászati Kutató Intézet (BKI) vizsgálta labor és in situ bányabeli körülmények között. Ezek a vizsgálatok rámutattak, hogy a közönséges ammoniumnitrát műtrágya nem képes az ideális 5-6% olajmegkötésre, így a töltetoszlopban már rövid idő alatt kikeveredés jöhet létre, mely miatt a töltet egy részén az olajtartalom 2-3%-ra csökkenhet, míg a töltet más részén az olajtartalom 6% fölé emelkedhet, mely keverékben már nem lehet stabil detonációt létrehozni. Ez indokolta a viszonylag nagy, 10% indítótöltet, és az erősítő töltetek alkalmazását. Ezen kellemetlen tulajdonságok miatt egyre jobban a porózus prillek iránti kereslet megnőtt, mely előre vetítette azt is, hogy az ilyen porózus prillel készített ANDO robbanóanyagok robbanási tulajdonságai is kedvezőbbek lesznek. Ma már szinte kizárólag porózus prillel készített ANDO robbanóanyaggal végeznek robbantást. A porózus prill azonban lépes 5% olajnál nagyobb mennyiségű olajat is felvenni, így helyi, beton-keverőben elvégzett keverése már nem lehet, az ilyen típusú robbanóanyagok helyi keveréséről le kellett mondani, sőt a keverést is olyan keverő berendezésben végzik, amelyben a prillhez adagolt olaj 5%-nál nem lesz több.

A porózus prillel előállított ANDO detonációs sebessége eléri nagytérőjű (nagyobb mint 60 mm) lyukban a 4000 m/s detonációs sebességet, gyutaccsal ugyan nem indítható, de stabil detonációt lehet 10% indítótöltettel elérni. A teljes töltetben kikeveredés nem jön létre, így a robbanási gázok összetétele optimális, azaz a mérgezőgáz tartalom is a kémiai átalakulásnak megfelelő minimális. Továbbra is megmaradt viszont az a tulajdonsága, hogy nem vízálló, sőt higroszkópos, azaz a levegő páratartalmából képes vizet megkötni, így csak zárt zsákos forgalmazás mellett maradnak meg előnyös tulajdonságai.

Az ANDO robbanóanyagok előnyös tulajdonságaként kell megjegyezni, hogy sűrített levegős töltőberendezést is kifejlesztettek az ömlesztett robbanóanyag töltésére, mely előnyösen használható volt mélybányában, valamint kőbányai robbantásoknál a vízszintesen aláfürt lyukak töltésére. A függőleges lyukak töltésére is kifejlesztettek egy töltő kocsit, mely képes volt az ömlesztett ANDO robbanóanyagot a töltési helyre szállítani és egy csigás berendezéssel és tölcserrel a robbantólyukba tölteni. Ezek a töltőkocsik hazánkban nem terjedtek el.

2.3.2.6. Semtex

A nitroglicerinnel tartalmú robbanóanyagokat helyettesíti. Csehországban Pardubiceben gyártják. Két változata van, a Semtex A és a Semtex H. A Semtex A nitropenta tartalma 49,8%, hexogén tartalma 50,2%, Ugyanez a Semtex H összetételében 94,3%, illetve 5,7%. A két változatot szudán színezékkel vöröses narancssárgára, illetve vöröses barnára színezik. Mindkét anyagot gumi adalékkal plasztikussá teszik. Előnyösen használható azoknál a robbantásoknál, ahol a dinamitok voltak hatásosak. Alakos töltet is készíthető belőle, így fémek darabolására is használható.

A Semtex robbanóanyagok detonációs sebessége 5000 m/s, az alkotó robbanóanyagok miatt oxigénegyenlege erősen negatív: -44%. Kritikus átmérője 15 mm.

A Semtex robbanóanyag kimutathatósága nehéz az alkotói miatt, ezért terror cselekményeknél is gyakran használták.

2.3.2.7. Emulziós robbanóanyagok

Mivel az ANDO, illetve az ANFO robbanóanyagok nem voltak vízállóak, már viszonylag korán mutatkozott egy ammóniumnitrát alapú vízálló robbanóanyagra való igény. Az ilyen vízálló robbanóanyagok az emulziós zagyokat, már viszonylag hamar előállították, azonban elterjedésükre viszonylag sokat kellett várni feltehetően az ANDO típusú robbanóanyagok kedvező ára miatt.

Az emulziós robbanóanyagok lényegében ammóniumnitrát vizes oldatába emulgált olajból állnak, melyhez kis mennyiségű zsírt és más adalékot adnak, melytől a vizes oldat plasztikussá és vízben nem oldhatóvá válik. Ez az oldat nem robbanóképes egészen addig, míg apró légbuborékokat nem visznek bele. Ere két lehetőség van. Az egyik lehetőség erre az adalékra az apró üveg, vagy műanyag gyöngy, a másik lehetőség, hogy a buborékokat vegyi úton állítják elő az oldatban. A buborékok mennyisége határozza meg, hogy a robbanóanyag gyutaccsal indítható lesz-e, vagy nem. A több buborékot tartalmazó anyag a gyutaccsal indítható, így ezeknek a zagyoknak a fajsúlya kisebb, mint a gyutaccsal nem indítható zagyoké. Az így előállított robbanóanyag detonációs sebessége eléri a 6200 m/s értéket is, Sűrűsége pedig az $1,2 \text{ g/cm}^3$ értéket, mely azonban jelentősen csökkenhet a légzárványok keletkezésével.

A kémiaiilag előállított buborékokat tartalmazó zagyok buborékainak belső nyomása természetesen függ a töltetoszlop magasságától, így előfordulhat hosszú töltet, vagy hosszú vízfojtás esetén (például szeizmikus robbantásoknál), hogy a hidrosztatikus nyomás növekedése miatt a gyutaccsal indítható robbanóanyag már nem lesz gyutaccsal indítható, csak indító töltettel. Ebben az esetben a buborékban megnövekedett nyomás miatt a gyutacs által keltett lökéshullám már nem képes olyan adiabatikus kompressziót és magas hőmérsékletet létrehozni, amely a robbanóképes anyagot kémiai reakcióba viszi. Ugyanez játszódhat gyönggyel érzékenyített emulziók esetén is, ha a helytelen lyuktelepítés miatt az előbb robbanó lyukban lévő felrobbanó robbanóanyag akkora nyomást fejt ki a szomszédos lyukban lévő emulzióra, hogy annak szemcséi összetörnek. Ekkor fennállhat a robbanóanyag megállása.

Ugyanúgy, mint az ANDO robbanóanyag töltésére az emulziók töltésére is töltőkocsikat fejlesztettek ki föld alatti és külszíni robbantási munkákhoz. A töltőkocsik konstruálásával megoldhatóvá vált az is, hogy az emulzió érzékenyítése, tehát a gázzárványok képzése, vagy az üveggyöngyök adagolása, csak közvetlen a robbantólyukba való szivattyúzaskor történjen meg. Ennek előnye, hogy a szállítás nem robbanóanyag szállítás volt, hanem csak veszélytelen oldatok, illetve száraz anyagok szállítása. Ugyanígy a munkahelyen

sem robbanóanyag volt jelen, és emberi kéz nagyrészt nem került közvetlen robbanó-anyaggal kapcsolatba, azaz a robbanóanyaggal való munkavégzés az indítótöltet elkészítésére korlátozódott. Ezek a töltőkocsik alkalmassá váltak a heavy ANFO töltésére is.

2.3.2.8. Haevy ANFO

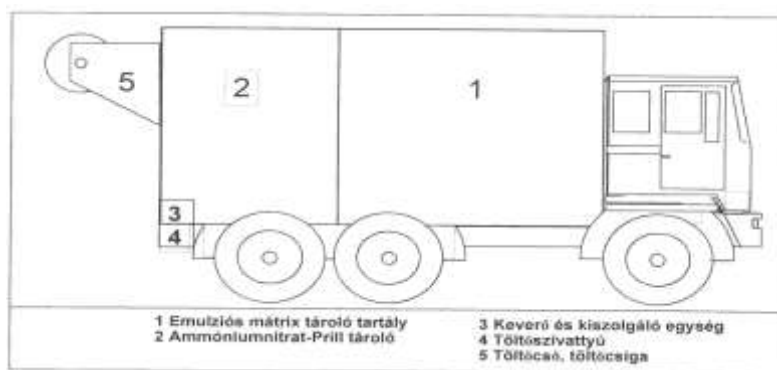
Az ANDO vagy ANFO robbanóanyagok nagyon jól keverhetők emulziókkal. Ezeket a robbanóanyag keverékeket az amerikai elnevezés alapján haevy ANFO-nak hívják. Ekkor az emulziók még megőrzik nagyon jó vízálló tulajdonságukat, ha a keverési arány 50%, és csak akkor lesz a keverék kevésbé vízálló, ha ez az arány 30% alá csökken. A gépi töltés szivattyúval történhet, ha az emulzió aránya 50%-nál nagyobb. Ha az ANFO aránya ezt meghaladja csigás töltést kell használni. Az ANFO-hoz ebben az esetben is adagolható alumínium por, mely a robbanóanyag robbantási tulajdonságait tovább javítja.

Ilyen töltőkocsi fényképe a 2.7. ábrán látható, melynek kétféle változata ismert. Az egyik szivattyúzható heavy ANFO-t képes tölteni, a másik változat csigával tölti a robbanóanyagot (2.8 és 2.9. ábra). A töltőkocsik használata elsősorban nagy kőbányák esetén rentábilis. További feltétel, hogy a töltőkocsiba töltött oldat készítési helye és a bánya ne legyen egymástól túlzottan messze, azaz az emulziót ne kelljen túlzottan nagy távolságra szállítani.

Az emulzióhoz adagolt ANFO mennyiségének függvényében a heavy ANFO detonációs sebessége 4100 m/s és 6200 m/s közötti értéket vehet fel. A sűrűsége ugyanígy függ az ANFO tartalomtól. A két szélső érték: $0,9 \text{ g/cm}^3$ és $1,3 \text{ g/cm}^3$.

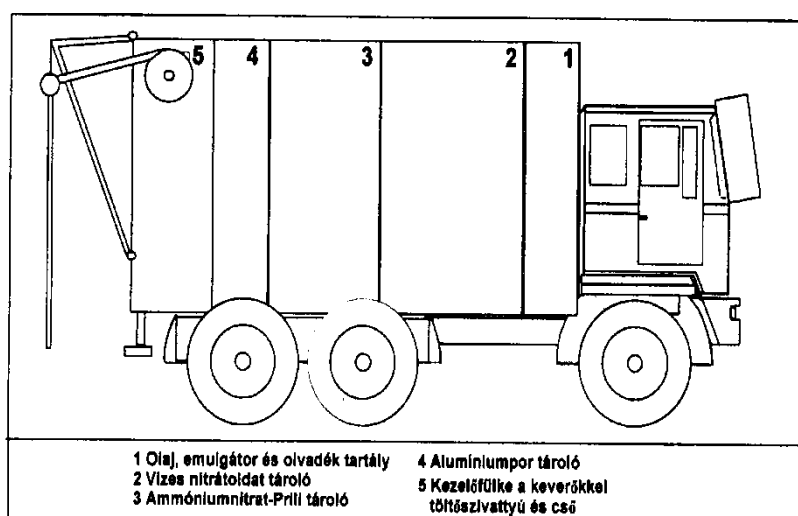


2.7. ábra
Haevy ANFO töltésére is alkalmas kocsi fényképe



2.8. ábra

Csigával tölthető heavy ANFO töltésére használható töltőkocsi



2.9. ábra

Szivattyúzható heavy ANFO töltésére alkalmas töltőkocsi

2.3.3. Robbanóanyaggal töltött tárgyak

A robbanóanyaggal töltött tárgyak leggyakrabban fém formába töltött primer robbanóanyagok. Ebbe a csoportba lehetne sorolni ennek a feltételnek eleget tevő gyutacsokat is, de fontosságuk és szerkezetük miatt külön fejezetben kerülnek tárgyalásra.

2.3.3.1 Robbanózsínórok

A legismertebb és leggyakrabban használt a nitropenta töltetű robbanó-zsínór. A nitropenta töltet textil fonatból készített csőbe kerül és ezt burkolják piros műanyaggal. A nitropenta töltet nagysága 4 és 100 g/m között lehet. Hazánkban a 12 g/m töltetű terjedt el. A szénhidrogén bányászatban speciális ólomköppenyos robbanózsínórt is használnak, melyek töltete a magas

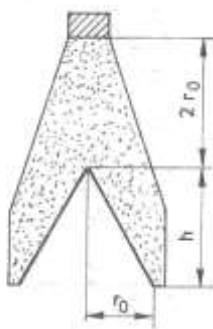
hőmérsékletet tűrő robbanóanyag is lehet, így hexogén, oktogén, vagy tedilén. A robbanózsínókat töltetek indítására használják akkor, ha a töltetet nagy sebességgel kívánják felrobbantani, például kőzetkímélő robbantásoknál, vagy több töltetet kell egyszerre nagy pontossággal indítani, és nem engedhető meg, hogy az előbb robbanó töltet a következő töltet indítását befolyásolja, vagy azt a helyéről elmozdítsa.

2.3.3.2. Nonel zsinórok

A múlt század vége felé terjedt el a nem elektromos (nonel) indítási mód, melynél a robbanóanyag indításához nem szükséges áramforrás, így előnyösen használhatók azokon a helyeken, ahol nagy a kóboráramveszély, vagy a villamos gyutacsok erős söntölődő hatásnak kitéttek. A technológiához használatos gyutacsokat ekkor speciálisan ilyen célra gyártott nonel zsinórral kell indítani. A nonel zsinór egy körülbelül 1,5-2,0 mm átmérőjű cső, melyet belül vékony rétegben primer robbanóanyaggal vonnak be, melynek detonációs sebessége körülbelül 2000 m/s. Az indításához egyszerű szikrát adó csappantyú serű robbantógép elegendő, melynek hatására a zsinórban szúróláng halad és a zsinór végére szerelt nonel gyutacsot a kicsapó szúróláng elindítja és a robbantás megtörténik.

2.3.3.3. Perforátorok és vágó töltetek

Ha egy fém kúp mögött a 2.10. ábra szerint robbanóanyagot helyezünk el és a robbanóanyagot felrobbantjuk, akkor a robbanóanyagban kumulatív hatás keletkezik, és a megolvadt fémkúp egy éles sugárban (jet- ejtsd dzsett) előre

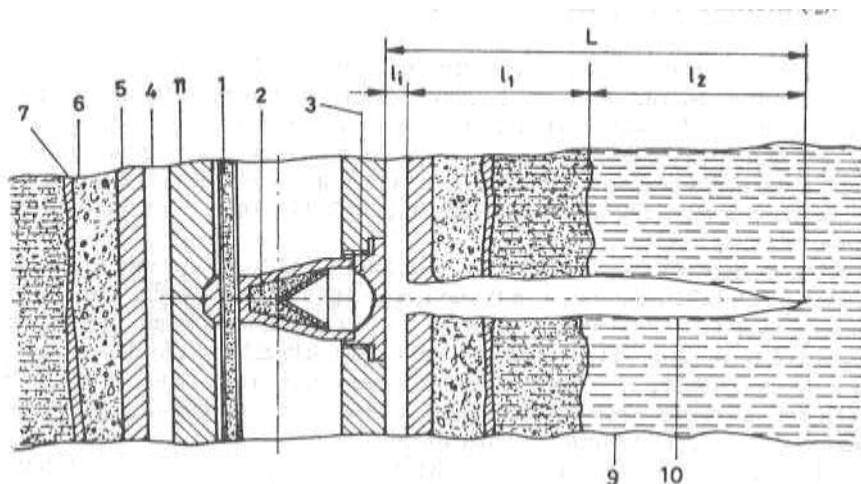


2.10. ábra
A perforátor méretezése

halad és az útjába eső tárgyon lyukat ejthet, ha a tárgy és a perforátor között a távolság az eltartási távolság, vagy ahhoz közeli. A fémkúp, vagy elnevezés szerint a betétkúp anyaga befolyásolja a jet átütő képességét, általában a fém rendszámával és így fajsúlyával nő.

A perforátorokat a szénhidrogén kutatásban használják és az erőteljes kutatási fejlesztési munkának köszönhetően számos speciális célú perforátor született.

Ezeket elsősorban a rétegnyitásnál használják, melynek illusztrálására egy példát a 2.11. ábrán láthatunk. A cél ekkor az, hogy a jet minél mélyebbre hatoljon be a szénhidrogént tartalmazó rétegbe.

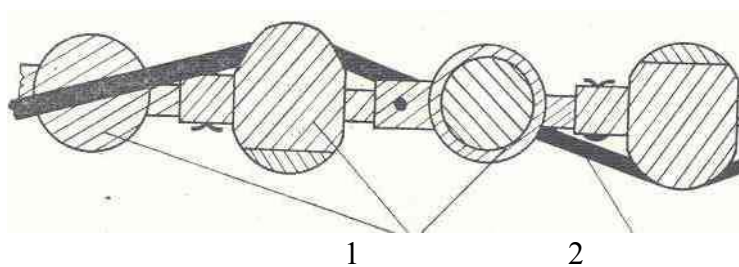


2.11. ábra

A jettel történő rétegnyitás

1. robbanózsín, 2. a kumulatív töltet, 3. zárósapka, 4. iszap, 5. bélészső, 6. cement palást, 7. iszaplepeny, 8. szennyezett réteg, 9. tároló réteg, 10. a perforációs csatorna, l_0 a teljes behatolás hossza, l_1 a bélészső és környezete – minimális nyitási kívánság, l_2 a tároló rétegbe való behatolás mélysége

A rétegnyitás hatékonyságát növelni lehet, ha egyszerre több perforátort robbantunk fel, és a tároló réteg nagyobb szélességét nyitjuk. Ilyen esetben előnyösen használták a fűzér perforátort (2.12. ábra).



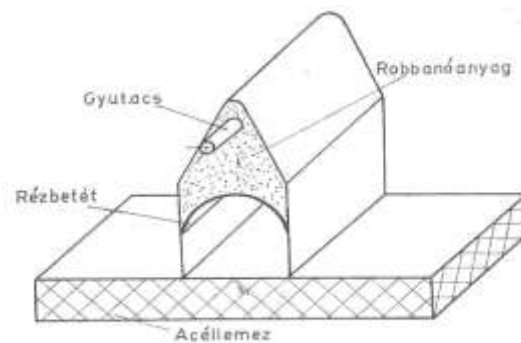
2.12. ábra

A fűzér perforátor. A perforátorok egymáshoz képest 90° -kal elforgatva

1. a perforátorok, 2. a robbanózsín

Ha a perforátor fémkúpját egy félbevágott csővel helyettesítjük, és ez mögé helyezük el a robbanóanyagot egy házban a 2.13. ábra szerint, akkor a robbantást követően a jet helyett egy éles fémsugarat állíthatunk elő, mely fémek vágására alkalmas. Az ilyen fémvágó töltet előnye, hogy a hagyományos egymással szemben nyírásra elhelyezett fémrobbantásos eljárással szemben nem keletkezik nagy szórásvesztés, ezért ez

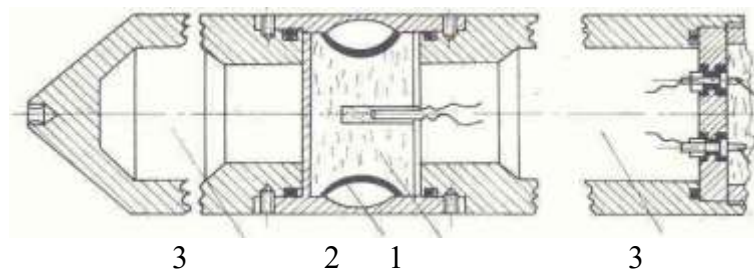
a módszer előnyösen alkalmazható nemcsak a szénhidrogén bányászat-ban, hanem fém építmények döntésénél is. Ekkor elsősorban a léglökés



2.13. ábra
A fémvágó töltet

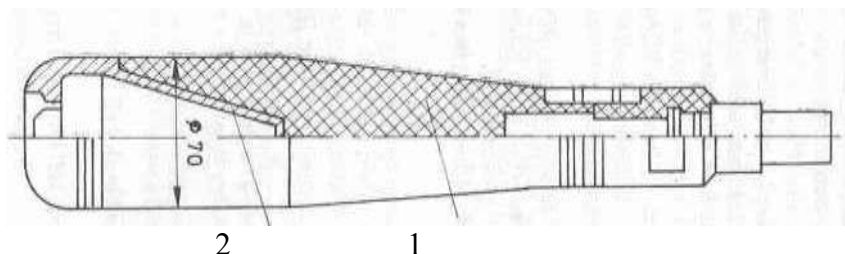
ellen kell hatásosan védekezni.

Ha a fémvágó töltet fémbetétjét kör alakban meghajlítják a csővágó töltetet kapják, melyet szintén a szénhidrogén bányászatban használnak csőszakaszok eltávolítására. Egy ilyen csővágó töltet látható a 2.14. ábrán.



2.14. ábra
Csővágó töltet vágóeszközbe szerelve
1. robbanóanyag, 2. fémbetét, 3. táglási tartály

A mélyfúrásokban használt robbantó szerkezetek közül még meg kell említeni a fúrólyuk talpán megrekedt szerkezetek eltávolítását célzó torpedót. Egy ilyen szerkezet látható a 2.15. ábrán.



2.15. ábra
Mélyfúrásokban használt torpedó
1. robbanóanyag, 2. fémbélés

Ezeknek az eszközöknek a robbanóanyaga elsősorban attól függ, hogy a mélyfúrásban milyen hőmérséklet és nyomás uralkodik. A nyomás ellen a burkolat minőségével lehet védekezni. A magasabb hőmérséklet ellen a robbanóanyag megválasztásával. Így szóba jöhet robbanóanyagként hexogén, oktogén, vagy tedilén a mélyfúrás mélysége és az ott uralkodó hőmérséklettől függően.

2.3.3.4. Jégrobbantó töltetek

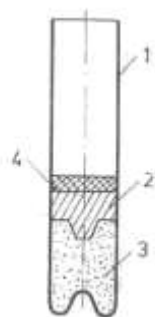
A robbanóanyag kumulatív hatása abban az esetben is megmarad, ha a töltet alját nem béleljük ki fém kúppal, csupán a kúp alakot hagyjuk meg. Az így keletkezett töltetek irányított hatással robbannak és a töltet alján kedvezőbb hatást fejtenek ki, mint az egyszerű rátett töltetek. Ezt a hatást kedvezően lehet kihasználni jégtorlaszok megbontására, vagy összefüggő jégmező megindítására. A Bányászati Kutató Intézetben kifejlesztett jégrobbantó tölteteket így több éve előnyösen használják jeges árvíz elleni védekezésben. Ezeknek a tölteteknek a műanyag burkolatát tárolják a felhasználásig, és akkor töltik fel robbanóanyaggal, így elkerülhető, hogy a robbanóanyag tárolási időpontján túl tárolt tölteteket meg kelljen semmisíteni.

2.4. Gyutacsok

A gyutacsok fejlesztésén keresztül akár az egész robbantástechnikai és technológiai fejlesztés is nyomon követhető.

2.4.1. Robbanó gyutacs

A robbanó gyutacs, vagy rövidebb nevén az RG gyutacs a legegyszerűbb gyutacs fajta. Indítása gyújtózsínórral történt és a gyutacs robbanása indította a robbantólyukba töltött robbanóanyagot. A gyújtózsínór hossza és égési sebessége együtt korlátozták a felrobbantható lyukak számát és így a felrobbantható robbanóanyag mennyiségét is. Ilyen RG



2.16. ábra

A robbanó gyutacs metszet rajza

1. a gyutacs hüvely, 2. primer töltet, 3. szekunder töltet, 4. fedő töltet

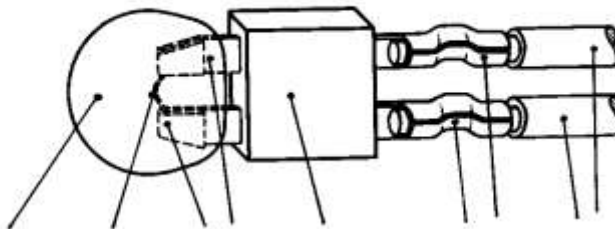
gyutacs metszete látható a 2.16. ábrán. A gyutacs hüvelye alumíniumból készült, a primer töltet ólomazid, a szekunder töltet pedig nitropenta. A fedő töltetre azért volt szükség, hogy a gyújtózsínor szerelésekor az ólomazidot ne lehessen elérni, mert az az erős dörzsérzékenysége miatt esetleg véletlen robbanáshoz vezetett volna. A gyújtózsínor beszereléséhez gyutacsfogót kellett használni. Ma már ezt a gyutacsajtát csak rendkívüli esetekben használják, a szereléséhez tartozó gyutacsfogó beszerzése is alig lehetséges.

A nagyobb volumenű robbantások utáni igény hozta magával a villamos gyutacsok megjelenését.

2.4.2. Villamos gyutacsok

A villamos gyutacsok villamos impulzussal indíthatók, egy indítási kísérlettel akár nagy számban is, így a felrobbantható robbanóanyag mennyiségét jelentősen növelni lehetett. A villamos gyutacsok pillanathatásúak és időzített (az indító impulzust követően késleltetve induló) gyutacsok lehetnek. Ezek a gyutacsajtát a 2.18. ábrán láthatók. Az a) jelű gyutacs pillanathatású, a b) és a c) jelű időzített villamos gyutacs. A b) jelű gyutacs időzítési módja ma már nem használatos. Az időzítő betéteket a gyártók egy kis csövecskében helyezik el, melynek anyaga többnyire alumínium. A forgalomba kerülő villamos gyutacsok érzékenységét, azaz az indításhoz szükséges minimális villamos munka nagyságát a gyújtófej határozza meg. Attól függően, hogy ez a villamos munka mekkora, változik az egyik gyutacsvezeték színe. Ez minél sötétebb, annál nagyobb villamos munka kell az indításához. A másik vezeték színe az időzítési intervallum nagyságát jelöli, a szín sötétedésével az időzítési intervallum nagysága nő. Az időzítési fokozat számát az egyik gyutacsvezetékre kapcsolt számtábla jelzi. A táblán levő számot szorozva az időzítési intervallummal a gyutacs késleltetési idejét kapjuk.

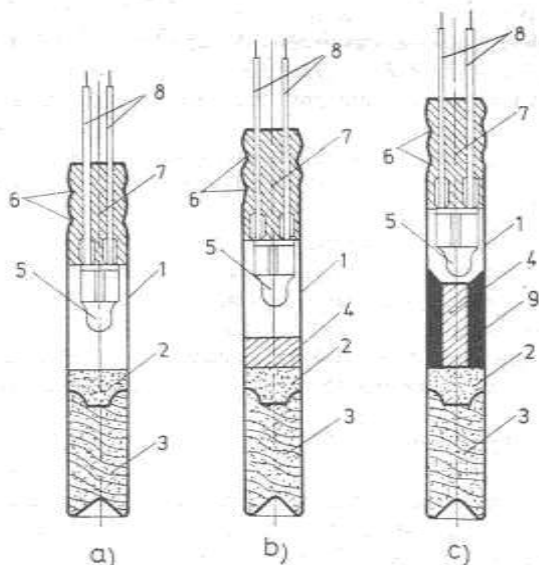
A villamos gyutacsok lényeges része a gyújtófej, amely a 2.17. ábrán látható. Az izzószál anyaga, és így ellenállása szabja meg a gyutacsok indíthatóságát.



2.17.ábra

A villamos gyutacs gyújtófeje

1. a gyúteleg, 2. az izzószál, 3. az izzószál befogása, 4. műanyag rögzítő, 5. a gyutacsvezeték fémzála, 6. a gyutacsvezeték szigetelése



2.18. ábra

A villamos gyutacsok fajtái

a) pillanat hatású, b) időzítő betétes gyutacs, c) az időzítő betét csőben elhelyezett

1. a gyutacshüvely, 2. primer töltet, 3. szekunder töltet, 4. időzítő betét, 5. gyújtófej, 6. a vízmentes zúzás a hüvelyen, 7. záródugó, 8. gyutacs-vezeték, 9. az időzítő betétet tartalmazó csövecske.

2.4.3. A nonel gyutacsok.

A nonel gyutacsok az RG gyutacsoktól annyiban különböznek, hogy már eleve szereltek egy a hosszúság igényekhez alkalmazkodó nonel zsinórral. A robbantási technológiától függően a gyutacsok lehetnek pillanathatásúak, vagy időzítettek. Pillanat hatású gyutacsok esetén az időzítést külső időzítő betétekkel lehet megoldani, melyeket az egyes robbantólukakból kiálló nonelzsinór végek közé kell illeszteni.

A belső időzítésű nonel gyutacsokat a felhasználó által kért hosszúságú nonel zsinórral szerelve szállítják karikába tekerve, mint az a 2.19. ábrán látható.

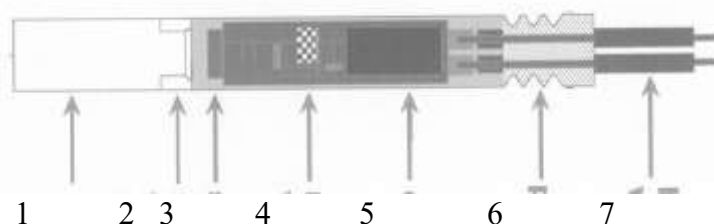


2.19. ábra

A nonel gyutacs a nonel zsinórral

2.4.4. Elektronikus gyutacsok

Az elektronikai iparág a nagymértékű miniatűrízálásán keresztül lehetett azt elérni, hogy a pirotechnikai időzítő betétek helyett a gyutacs hüvelyébe elektronikus időzítést is be lehetett építeni. Az elektronikus időzítésnek köszönhetően a gyutacsok időzítési pontossága szemben a pirotechnikai időzítéssel hihetetlen mértékben megnőtt. A 6000 ms időzítés esetén is elérhető a $\pm 0,5$ ms időzítési pontosság, mely pirotechnikai időzítés esetén az ilyen nagy időzítésű gyutacsoknál akár



2.20. ábra

Az elektronikus időzítésű gyutacs

1. a szekunder töltet, 2. primer töltet, 3. pirotechnikai betét,
4. mikroprocesszor memóriával, 5. kapacitás, 6. dugó,
7. szigetelt vezeték

± 100 ms is lehet. Az elektronikus gyutacsok által megnyílt technológiai lehetőségeket ma még nem használták ki teljes mértékben.

2.4.5. A gyutacsok vizsgálata

Ebben a fejezetben elsősorban a villamos gyutacsok vizsgálatára lehet csak kitérni bár ezeknek a vizsgálatoknak nagy része a nonel és az elektronikus gyutacsok vizsgálatára is érvényes.

A gyutacsokat elsősorban erősség szempontjából vizsgálják ólomátütési próbával. A bányászatban használt gyutacsoknak az erőssége Nobel sor szerint legalább 8-as erősségűnek kell lenni. Ez akkor teljesül, ha ólomlemezen az átütés nagysága legalább a gyutacs átmérőjénél nagyobb.

A kezelésbiztosságot rázó, rántó és ejtő próbával vizsgálják.

A kóboráram biztosságot és a gyújtási impulzus érzékenységet úgy vizsgálják, hogy a gyári adatoknak megfelelő áramerősséget illetve gyújtóimpulzust juttatnak a gyutacsra, melynek ekkor kóboráram biztosság szempontjából felrobbanni nem szabad, illetve a gyújtóimpulzus hatására fel kell robbanni.

A sorozatindíthatóságot 20 gyutacson végzik a gyár által megszabott áramerősséget bocsájtva a gyutacsokra. A gyutacsok akkor sorozat indíthatók, ha minden gyutacs robban.

A robbanási összidő mérésénél a gyutacs indítása és a gyutacs robbanása közötti eltelt időt határozzák meg.

Különösen villamos gyutacsok esetén fontos paraméter a gyutacs összellenállása. Egyes robbantások esetén ennek a paraméternek a meghatározása biztonsági okok miatt a robbantás előtt előírás szerint szükséges lehet.

3. A robbanás létrehozása, a robbanóanyagok iniciálása és a robbanás fenntartása

Mint azt az első fejezetben a term rendszerrel meghatároztuk a robbanóanyagok robbanása azért nem következik be előállításuk után azonnal, mert olyan kémiai-fizikai állapotban van, amit a potenciál kút határoz meg. Ahhoz, hogy ebből az állapotból ki tudjuk emelni valamilyen energiát kell közölnünk. A robbantás technikában ezt az energiát iniciálási energiának nevezzük. A robbanóanyagok felrobbantásához szükséges iniciálási energia szerint vannak gyutaccsal indítható és indító töltettel indítható robbanóanyagok. Mindkét esetben a robbanóanyagban az iniciálással lökéshullámot keltünk. Ez a lökéshullám ha a robbanóanyagban lévő gázzárványokat adiabatikus expanzióval annyira fel tudja melegíteni, hogy a robbanóanyag kémiai átalakulása megtörténjen, akkor ez a gyors kémiai átalakulás újabb lökéshullámot hoz létre, mely tovahaladva a robbanóanyag újabb rétegeit robbanási átalakulásba viszi. Belátható, hogy a robbanóanyagban a detonációs átalakulás akkor fog bekövetkezni, ha az iniciáló lökéshullám detonációs sebessége legalább akkora, vagy nagyobb, mint az indítani kívánt robbanóanyag detonációs sebessége. Ugyancsak belátható, hogy a robbanóanyagban keletkező és a kémiai átalakulással keletkezett lökéshullám sebessége nem csökkenhet egy kritikus sebesség alá, mert ekkor az adiabatikus kompresszió nem képes a robbanóanyagban lévő gázzárványok hőmérsékletét a kémiai átalakuláshoz szükséges hőmérsékletre felemelni. Ilyenkor a robbanóanyag detonációját erősítő töltettel kell fenntartani, melynek detonációs sebessége meghaladja a robbanóanyag detonációs sebességét.

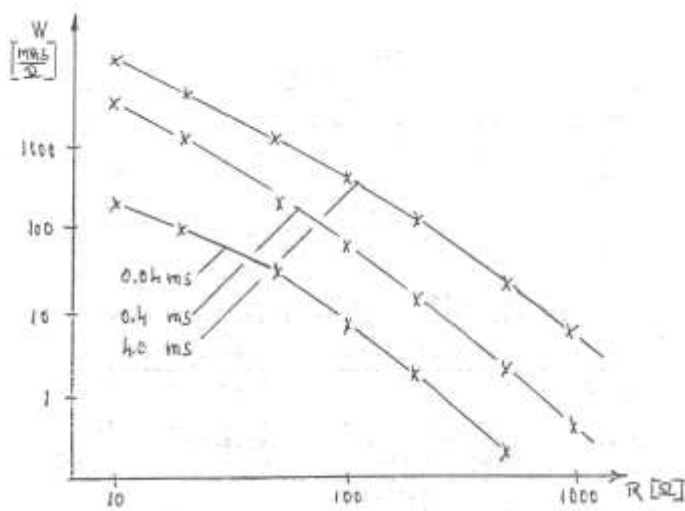
Ugyancsak belátható, hogy a robbanóanyagban elindított lökéshullám fenntartásához kellő számú kémiai átalakulásra képes gócnak kell keletkezni, melynek száma a lökéshullám nem feltétlen nagy szélessége miatt attól is függ, hogy a lökéshullám gömbfelülete mekkora, azaz az érintett robbanóanyag-darab mekkora átmérőjű. Ez azt is jelenti, hogy a detonáció fenntartásához arra is szükség van, hogy a lökéshullám elég nagy átmérőjű gömbszelet felületen terjedhessen, azaz a robbanóanyagnak kritikus átmérője van.

A robbanóanyagok iniciálását a leggyakrabban gyutacsokkal végezzük még akkor is ha indító töltetet használunk, hiszen azt már gyutaccsal iniciáljuk. A robbantástechnikában jelenleg a legelterjedtebb indítási mód a „hagyományos” villamos gyutacsokkal történő villamos indítás.

3.1. A villamos indítás

A villamos indítás végeredményben a 2.18. ábrán látható gyújtófej indításával történik. A gyutacs érzékenységétől függően az izzító szálra egy a gyártó által meghatározott indító impulzusnál nagyobb impulzust kell adni, illetve a gyújtószálon 4 ms időtartamon belül a gyutacs érzékenységétől függően a szabvány által megadott elektromos munkánál nagyobb munkát kell elvégeztetni. Ez az érték normál érzékenységű gyutacsok esetén $3,6 \text{ mWs}/\Omega$, (tervezési érték $4 \text{ mWs}/\Omega$) és gyutacsok esetén $16 \text{ mWs}/\Omega$ (tervezéshez $20 \text{ mWs}/\Omega$), polex gyutacsok esetén $140 \text{ mWs}/\Omega$ és HU gyutacsok esetén $3000 \text{ mWs}/\Omega$. Ez utóbbi két gyutacstípus hazánkban nem használatos.

A Bányászati Kutató Intézetben a gyújtófej indításával kapcsolatosan kísérleteket végeztek, és megállapították, hogy a gyújtófejre adott elektromos munka nagyságától függően a gyújtófej kétféle módon robbanhat. A nagyon nagy impulzus esetén a gyutacs izzószála mintegy felrobban, és nagyon erősen indítja a gyúelegyet, míg kisebb impulzus esetén az izzószál csupán felizzik, de nem szakad el, és a gyúelegy gyújtása szakítja meg a gyújtószálat. Ennek megfelelően ha a gyújtószálat nagy energiával indítjuk, akkor a gyúelegy hamarabb gyullad meg, erősebben indul a késleltető elegy, vagy a primer töltet, azaz a gyutacs nagy biztonsággal és hamar indul, tehát a várt időzítési pontossággal. Ha az indító impulzus kicsi, akkor viszont a gyúelegy is később indul, következésként a gyutacs időzítési pontossága is rosszabb lesz. Az elmondottak alapján tehát célszerű a gyutacsokat a lehetséges legnagyobb energiával indítani, azaz minél nagyobb munkát juttatni a robbantó körre. A robbantókör ellenállásának függvényében a 0,04, 0,4 és 4 ms időtartam alatt megjelenő specifikus munkát a 3.1. ábrán ábrázoljuk,



3.1. ábra

A robbantókör ellenállásának függvényében a gyutacsokra jutó specifikus munka három megválasztott időpontban

A gyutacsok összellenállása a gyújtófejre jellemző, és az izzószál ellenállásából és a gyutacsvezeték ellenállásából tevődik össze. A gyújtófej izzószálának ellenállása a gyutacsok érzékenységének csökkenésével csökken, tehát érzéketlenebb gyutacshoz kisebb ellenállás tartozik, mely megfelel annak, hogy az indításához nagyobb elektromos energiát kell közölni. A normál érzékenységű gyutacsok izzószálának ellenállása körülbelül 4-5 Ω , míg én gyutacsok esetén ez az érték 3-4 Ω , Porex és HU gyutacsok esetén ez az érték még kisebb.

A gyutacsvezeték ellenállása természetesen a vezeték hosszától is függ, így ónozott acél vezeték esetén a vezetékpar hosszára vonatkoztatva a méterenkénti ellenállás körülbelül 1 Ω . Ugyanezen érték rézvezeték esetén 0,5 Ω . Az acélvezeték méterenkénti nagy ellenállása indokolja, hogy 6 méternél hosszabb vezetékű gyutacs csak réz vezetékkel készül. Ugyanez indokolja, hogy én gyutacsok és ennél is érzéketlenebb gyutacsok vezetéke réz.

Nemcsak acél vezetékes gyutacsok esetén, hanem minden esetben az elmondottak alapján a gyutacsok összellenállásában lényegesen magas érték lehet a gyutacsvezeték ellenállása, ezért ahol csak lehet a gyutacsvezeték rövidíteni célszerű, mert jelentősen csökkenthető a robbantókör ellenállása, ami biztosabb indításhoz vezet.

3.1.1. A gyutacsok soros kapcsolása (kötözés)

Ha a robbantókör n darab sorba kapcsolt azonos gyutacsból épül fel, akkor a robbantókörre jutó U feszültség a gyutacsokon azonosan oszlik meg, tehát

$$(3.1.) \quad U = n \cdot U_{gy}$$

ha U_{gy} az egy gyutacsra eső feszültség. Az Ohm törvény alapján az R_{gy} gyutacs összellenállással ezt a képletet a következő alakba írhatjuk:

$$(3.2.) \quad i \cdot R_e = i \cdot n \cdot R_{gy}$$

ha a gyutacsokból kiépített kör eredő ellenállását R_e -vel jelöljük. Innen i -vel való osztás után a gyutacsokból kiépített kör eredő ellenállása:

$$(3.3.) \quad R_e = n \cdot R_{gy}.$$

A robbantógép előtt ennek megfelelően soros kapcsolás esetén az R_δ összellenállás:

$$(3.4.) \quad R_\delta = R_{rf} + n \cdot R_{gy}$$

ahol R_{rf} a robbantó fővezeték ellenállása. Ezen az ellenálláson keresztül lehet kisütni a robbantógép C kapacitásán a robbantógép töltőszerkezetével felhalmozott elektromos töltéseket, melyek a robbantógép kapcsai között U_0 feszültséget hoztak létre. Az időben változó U feszültség hatására 4 ms időtartam alatt kell a gyutacsoknak az indukciójukhoz szükséges elektromos

munkát megkapni. A 4 ms időtartamon túl elvégezhető elektromos munka veszteségként jelentkezik.

Az U_0 feszültségre feltöltött C kondenzátoron a teljes E_0 elektromos energia:

$$(3.5.) \quad E_0 = \frac{1}{2} C U_0^2$$

A kondenzátor U_0 feszültsége időben csökken, melynek értéke 4 ms időtartam után:

$$(3.6.) \quad U = U_0 \cdot \exp\left(-\frac{t_h}{RC}\right)$$

ahol $t_h = 4$ ms. Ennek megfelelően a robbantásnál elvesző E_v energia:

$$(3.7.) \quad E_v = \frac{1}{2} C U^2$$

így a robbantókör indítására használható elektromos munka:

$$(3.8.) \quad W = (E_0 - E_v) \cdot t_h$$

Az 1Ω ellenállásra jutó elektromos munka így nyilvánvalóan:

$$(3.9.) \quad w = \frac{W}{R_0} = \frac{(E_0 - E_v) t_h}{R_0}$$

A 3.1. – 3.9. egyenlőségekben az R ellenállások értékét Ω (ohm)-ban, az U feszültség értékeket V (volt)-ban, a C kondenzátor értékeket F (farád)-ban kell helyettesíteni. Ekkor az E energiát Wattban, a W munkát pedig Ws (watt*szekundum)-ban kapjuk. A w értékét mWs/Ω -ban szokás megadni.

A 3.6. összefüggésben az $R_0 \cdot C = \tau$ szorzatot az elektromos kör kőrállan-dójának is szokás nevezni. Összevetve ezt a 3.7. összefüggéssel belátható, hogy minél nagyobb τ értéke, azaz minél nagyobb az R_0 ellenállás annál nagyobbak a robbantógép veszteségei, következésként célszerű az R_0 ellenállást csökkenteni. Ennek lehetséges módja a gyutacsvezeték rövidítésén kívül a robbantókör osztása. Ehhez azonban meg kell ismerni gyutacsok párhuzamos kapcsolását.

3.1.2. A gyutacsok párhuzamos kapcsolása

A gyutacsok párhuzamos kapcsolása esetén a körben folyó i_e összes áram a gyutacsokon megoszlik. Ha a gyutacsok ellenállása azonos és a számuk m , akkor az egy gyutacson folyó áram:

$$(3.10.) \quad i_{gy} = \frac{i_e}{m}$$

Az Ohm törvény alkalmazásával:

$$(3.11.) \quad \frac{U}{R_{gy}} = \frac{U}{\frac{R_e}{m}}$$

ahonnan rendezés és U-val való osztás után:

$$(3.12.) \quad R_e = \frac{R_{gy}}{m}$$

Így a teljes kör ellenállása:

$$(3.13.) \quad R_{\Sigma} = R_{rf} + \frac{R_{gy}}{m}$$

A 3.12 egyenlőségből nyilvánvaló, hogy az eredő ellenállás az ilyen kapcsolás esetén nagyon kicsi, így a robbantó fővezetéken nagyon nagy áramok folyhatnak. A 3.13. képlet ugyanígy azt tételezi fel, hogy a robbantó fővezeték ellenállását is kicsinek kell választani, olyan kicsinek, hogy az az R_{gy}/m ellenállással összemérhető legyen. Ez a feltétel akkor elégíthető ki, ha a robbantó fővezeték erős áramok vezetésére képes kábel. Ezt a gyakorlatban sokszor úgy oldják meg, hogy a bányabeli energia kábelt használják fővezetéknek. Ugyancsak nagy követelmény a robbantógéppel kapcsolatban, hogy az nagyon nagy áramerősséget képes legyen leadni. Az ilyen robbantógépek a villamos hálózatról működtethető hálózati kapcsolók, melyeket külön engedéllyel lehet csak használni, így ezek ismertetésére ezen könyv nem lehetett hivatott.

3.1.3. Vegyes kapcsolás

Abban az esetben, ha a robbantógépre kapcsolt soros kapcsolású kör ellenállása nagyobb, mint amit a robbantógéppel el lehet robbantani csökkenteni kell a robbantógépre jutó ellenállás értékét. A 3.3. pont szerint ez természetesen megtehető, ha a kört több párhuzamos ágra osztjuk. Ha $n \cdot R_{gy}$ az összes sorba kötött gyutacs ellenállása és ezt a kört m részre osztjuk, akkor az egy osztott kör $R_{egy\ kör}$ ellenállása:

$$(3.14.) \quad R_{egy\ kör} = \frac{n \cdot R_{gy}}{m}$$

Az m darab párhuzamosan kötött ág R_e eredő ellenállására így a következő írható:

$$(3.15.) \quad \frac{1}{R_e} = \frac{m}{R_{gy, kör}} = \frac{m}{n \cdot \frac{R_{gy}}{m}} = \frac{m^2}{n \cdot R_{gy}}$$

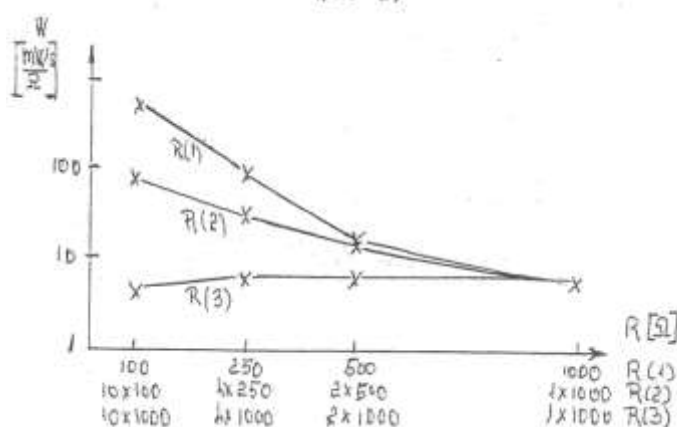
ahonnan rendezés után:

$$(3.16.) \quad R_e = \frac{n \cdot R_{gy}}{m^2}$$

Természetesen ebben az esetben is el kell végezni a 3.9. összefüggés szerint azt az ellenőrzést, hogy az egy gyutacsra jutó elektromos munka a gyutacsra előírt munkát meg kapja-e.

A gyakorlatban a körök osztása során az egyes körök ellenállásában különbségek lehetnek. Ezeket a különbségeket ki kell egyenlíteni úgy, hogy a legnagyobb ellenállású kört ki kell választani, és az ennél kisebb ellenállású körök elé megfelelő teljesítmény elviselni képes előtét ellenállásokat kell beiktatni (váltakozó ellenállásokat azaz potenció métereket), és így kell az egyes körök ellenállását azonosra hozni, azaz a gyakorlatban az egyezésnek jobbnak kell lenni, mint 20 %. Törekedni kell az ennél nagyobb pontosság elérésére, mely a digitális műszerek megjelenésével teljesíthető.

Az egyes körökre juttatható munka a körosztással növelhető elsősorban azért, mert a veszteségek csökkennek. A körosztásra vonatkozó néhány számított értéket a 3.2. ábra tartalmaz.



3.2. ábra

Különböző osztott körökre vonatkozó specifikus munkák

Az ábrából világosan kitűnik, hogy a körosztással a robbantógépből kivethető munka nő, ezért olyan körök esetén ahol az indításhoz szükséges munka közelít a határértékhez célszerű a robbantókört osztani, különösen akkor, ha fennáll a söntölődés veszélye.

3.1.4. A robbantóhálózat kialakításának gyakorlata

Különösen akkor, ha nagy mennyiségű gyutaccsal kívánatos a robbantás elvégzése törekedni kell arra, hogy a kialakított hálózat áttekinthető, és így könnyen ellenőrizhető legyen. Ezért a robbantólyukból kiálló gyutacsvezetékeket célszerű annyira rövidíteni, hogy azok egymáshoz még lazán csatlakoztathatók legyenek. Célszerű ezt a hosszt úgy megválasztani, hogy a kötési helynél egy kis hurkot lehessen kiképezni, ami által a kötési hely eltartható a közettől, és így a söntölődés lehetőségét a minimálisra csökkentjük. Az áttekinthetőséget elősegíti, ha a gyutacsvezetékeket „színt a színnel” kötjük, melyet különösen olyan esetben kívánatos követni, ha kettőnél több osztott

töltetet kell alkalmazni. Vizes sáros munkahelyeken a kötési helyeket célszerű azonnal szigetelőhüvelyekkel is ellátni.

Az áttekinthetőség különösen akkor kívánatos, ha a robbantó kört meg kell osztani. Kőroosztásnál a teljes nagyságú körre kötött robbantó fővezeték egyik ágát az ellenállásmérőről levesszük, és egy segédvezeték csatlakoztatunk. A segédvezeték másik végpontjával az osztani kívánt kör vélt feléhez csatlakozunk, és megmérjük a részkör ellenállást. Ezután az ellenállásmérőhöz a robbantó fővezeték másik ágát csatlakoztatjuk és ismét ellenállást mérünk. Ha a két érték nem egyezik, akkor a kisebb ellenállású szakaszhoz újabb gyutacsokat teszünk. Ezt az eljárást addig folytatjuk, míg a két ellenállás azonos nem lesz. Ha nem sikerül a két kört azonos ellenállásúra hozni, akkor a kisebb ellenállású körbe egy potenciómétert kell iktatni, és ezzel kiegyenlíteni a két ellenállás közötti különbséget. A kőroosztás után a fővezeték két ágát összekötjük, és a segédvezeték és az összekötött vezeték között mérünk ismét ellenállást, melynek értéke a teljes kör ellenállásának felének kell lenni. Ez a két vezeték vég kerül a robbantógép két pólusára.

Nagyon nagy körök esetén, például épületrobbantás esetén, sokszor nem elég a kör felezése, hanem kettőnél több kör kialakítása szükséges. Ezekben az esetekben az áttekinthetőség miatt célszerű az egyes köröket külön-külön vezetékpárokkal a robbantóállomásra csatlakoztatni, ott a köröket kiegyenlíteni. Az egyes körök ellenállását próbaméréssel kell ellenőrizni, és ugyanígy meggyőződni arról, hogy az osztást követő összes ellenállás, mely a robbantógépre kerül, az egyes körök ellenállásának annyiad része, ahány részre a kört osztották.

Párhuzamos kötözés esetén célszerűen „antennát” használnak, mely két fémesen vezető kör alakú hurok. Ekkor az azonos gyutacsvezetékek egy hurokra kerülnek. A robbantó fővezeték két ága pedig a két hurokra kerül.

Valamelyest csökkenteni lehet a nagy áramerősség igényt azzal, hogy antennaként két fél hurkot használnak és a két fél hurkot sorba kötik.

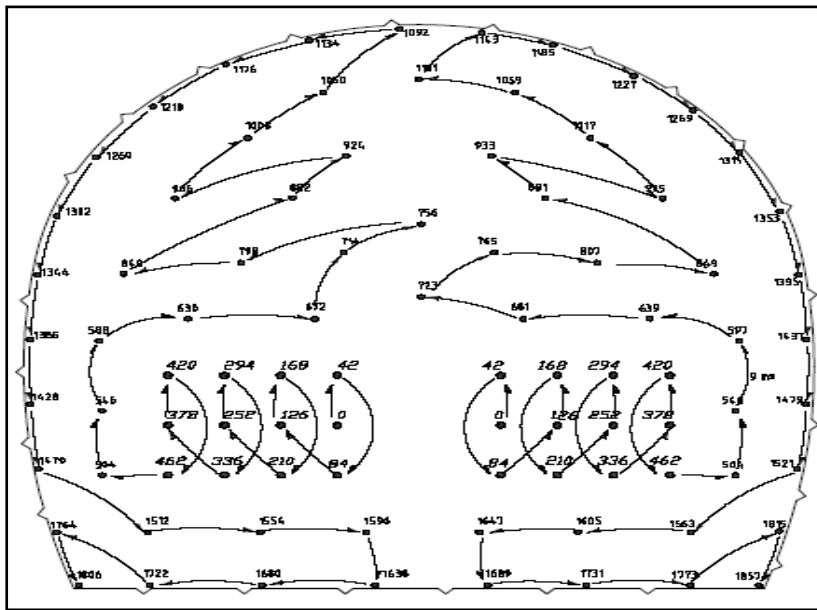
A párhuzamos kapcsolást általában akkor használják ha nagy a söntölődés veszélye. Ez a gyakorlatban főleg aknamélyítésnél fordul elő, amikor is még a kötési helyek is víz alá kerülhetnek.

3.2. A töltetek indítása nonel zsinórral

Mivel ennél az indítási módnál nincs lehetőség ellenállás méréssel a gyutacsokat ellenőrizni, nagy szerepet kap az ellenőrzéshez az áttekinthetőség. A nonel zsinórt célszerű soronként vezetni. Ha a nonel gyutacsok késleltetett gyutacsok, akkor akár egy vezető szálhoz is csatlakoztathatók a robbantólyukból kiálló zsinórvégek.

Alagút építésnél használt ilyen áttekinthető kialakítást a 3.3. ábrán láthatunk.

Külfejtésekben ugyanilyen áttekinthetőséget kell kialakítani a robbantó kört.



3.3. ábra

Nonel zsinórral kialakított robbantásnál a zsinór vezetése alagút építésnél

Külszíni nonel zsinóros robbantásoknál előnyösen alkalmazhatók az időzítő betétek. Ezzel a módszerrel a robbantólukak számát elvileg akár végtelenre lehet növelni, és csupán az szab korlátot, hogy egy műszak alatt mekkora mennyiségű robbanóanyag és milyen számú robbantólukuk tölthető le.

Külső időzítő betéttel szerelt nonel zsinór cséve a 3.4. ábrán látható. A külső időzítő betét gyutaccsal is szerelhető. Ilyen gyutaccsal szerelt időzítő betétet is tartalmazó nonel zsinór a 3.5. ábrán látható.



3.4. ábra

Külső időzítő betétek szerelt nonel zsinórsor



3.5. ábra
Külső időzítésű nonel zsinórcséve szerelt gyutaccsal

3.3. Iniciálás elektronikus gyutacsokkal

Az elektronikus gyutacsokkal párhuzamos kötéssel kialakított robbantó

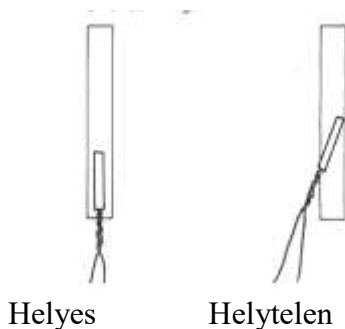


3.6. ábra
Az elektronikus gyutacs kötő eleme

hálózatot építenek ki. Hasonlóan, mint a nonel gyutacsoknál a kiépített kört ellenállás méréssel nem lehet ellenőrizni. Nagy biztonságot ad viszont az, hogy a gyutacsok időzítését a helyszínen végzik el a logger nevű készülékkel. A helyszíni adatokat a loggerről a speciálisan elektronikus gyutacsok robbantására fejlesztett robbantógépre viszik, így egyben a gyutacsot azonnal ellenőrzik és azt dokumentálják. Ezekkel az adatokkal a robbantógép leellenőrzi a már kiépített hálózatot. Ha az ellenőrzés során a robbantógép hibát talál nem lép tovább, míg a hibát ki nem javították. A robbantógép csak akkor működtethető, ha a kiépített kör hibátlan, ekkor a robbantógép egy jelrendszer leadásával indítja a gyutacsokba beépített időgenerátort, és a gyutacs kapacitásán tárolt elektromos energia csak akkor jut a gyújtószálra, ha a beállított késleltetési idő letelt. A többszörös ellenőrzés szinte teljesen kizárja a gyutacshibából származó indítási problémákat.

3.4. Az indító töltet

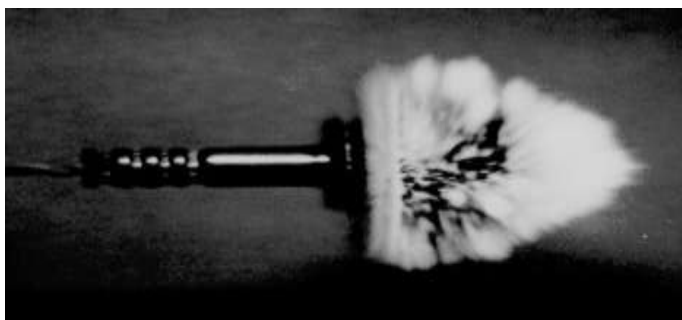
Függetlenül attól, hogy a robbantólyukba töltött robbanóanyag indítható-e gyutaccsal, vagy nem a gyutaccsal szerelt töltetet indító töltetnek ne-vezzük. Ennek elhelyezése a robbanóanyag töltényben a töltény tengelye mentén legyen, mint az a 3.7. ábrán látható, mert csak így biztosítható, hogy a töltényben önfenntartó detonációs hullám keletkezzen.



3.7. ábra

A gyutacs helyes és helytelen elhelyezése az indító töltetben

Minden további bizonyítás helyett ennek belátására szolgáljon a 3.8. ábrán látható felrobbanó gyutacs gyorsfényképe.



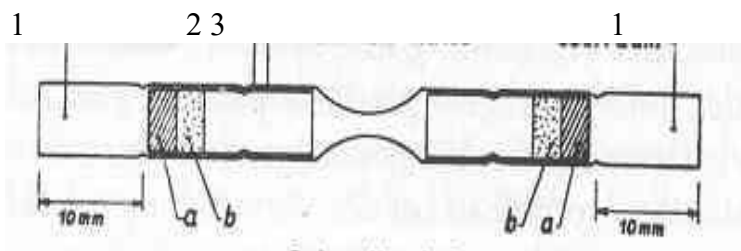
3.8. ábra

A felrobbanó gyutacs gyorsfényképe

Gyutaccsal nem indítható robbanóanyagok esetén szokás nagy detonációs sebességű préstesteket használni. Ezeknél a préstesteknél a gyutacs, vagy a robbanózsínór elhelyezéséhez megfelelő lyukakat képeznek ki. Ilyen préstestek készülnek TNT-ből, vagy TNT-ből és hexogénből. Ez utóbbiak nem keverékek, hanem külön-külön hengeresen egymásba préselt testek.

Egyes országokban a nagytérű és egy rendelettel megadott méretnél hosszabb robbantólyukak csak a robbantólyuk teljes hosszában végig-vezetett robbanózsínórral indíthatók. Ebben az esetben kívánt, hogy a robbanózsínór iniciálja a robbantólyuk töltetét. Ehhez a feltételhez rendelkezésre állnak 12 g/m töltetnél nagyobb töltetű robbanózsínórok is. Az ilyen módon történő indítás esetén a robbanózsínór ugyanúgy, mint a nonel zsinór a robbantás helyén vezethető külfejtés esetén, és ezekhez robbanózsínórokhoz gyártanak időzítő betéteket is. Ilyen időzítő betét látható a 3.9. ábrán. Ugyanúgy mint a nonel

zsinóros indításnál a robbantólyukak száma elvileg akármilyen nagyra növelhető.



3.9. ábra

Robbanózsinóros iniciálási rendszerhez alkalmazható időzítő betét

1. a robbanózsinór befogására szolgáló üres tér, 2. külső alumínium hüvely, 3. belső alumínium hüvely, a – időzítő elegy, b – robbanó anyag

Hazánkban ez az időzítési rendszer nem terjedt el.

A robbanózsinóros iniciálási mód jól alkalmazható közetkímélő, vagy előhasító, vagy utóhasító robbantásoknál, amely esetekben több robbantólyuk töltetét is nagyon pontosan egyszerre kell indítani. Ekkor természetesen az időzítő betéteket nem alkalmazzák. Ezt a robbantási módot már hazánkban is sikerrel használták.

4. A robbanás hatása a környezetre

A robbanóanyag iniciálása után a keletkező lökeshullám nemcsak a robbanóanyagban terjed tovább, hanem onnan kilépve a környezetben is hoz létre fizikai változásokat, vagy esetleg kémiai változást is. Ebben a változásban jelentős szerepe van a nagy nyomású robbanási gáztermékeknek is.

4.1. Robbantások szilárd anyagban

A robbanáskor keletkező lökeshullám attól függően, hogy milyen a környezet akusztikus ellenállása, részben belép a környezetbe, részben pedig onnan visszaverődik. A robbantás célja szinte mindig az, hogy a detonációs hullám minél nagyobb mértékben a környezetbe jusson. Ez a hatás az akusztikus illesztéstől függ, mely minél közelebb van az 1-hez, annál jobb, azaz a lökeshullám anyagba való behatolása annál nagyobb mértékű. Ez az akusztikus illesztés a következő:

$$(4.1.) \quad \Lambda = \frac{D \cdot \rho_{r.a.}}{c \cdot \rho_k}$$

ahol D a robbanóanyag detonációs sebessége

c a robbanóanyag környezetében terjedő hang sebessége

$\rho_{r.a.}$ a robbanóanyag sűrűsége

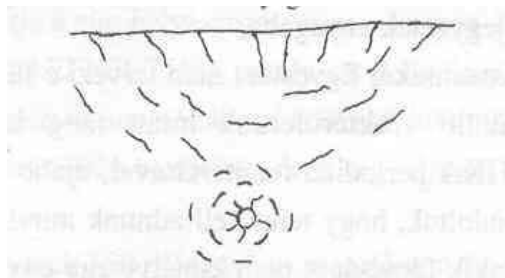
ρ_k a környezet sűrűsége.

A fenti összefüggésből teljesen nyilvánvaló, hogy jó robbantási eredményt akkor várhatunk el, ha ismerjük nemcsak a felhasználni kívánt robbanóanyag tulajdonságát, de a robbantásra kerülő közet tulajdonságait is, és ezeket a 4.1. képlet szerint illesztjük egymáshoz.

Annak ellenére, hogy a 4.1. képletet a fizikai törvényekkel jól lehet magyarázni, számos jel mutat arra is, hogy a robbanás környezetre való hatásaiban a detonációs hullám mellett jelentős szerepe van a robbanási gáztermékeknek, illetve ezek nyomásának, térfogatának és hőmérsékletének is. Ennek magyarázata kőzetek robbantása esetén az, hogy a reális kőzetek mindig rendelkeznek mikró és makró hibahelyekkel. Mikró hibahelyek az anyag szerkezetében fellelhető rácshibák, a szerkezete beépülő idegen szennyeződések, szabad szemmel észre sem vehető mikró repedések. Makró hibahelyek a már jól észrevehető repedések, beágyazódások, törések. A makró hibahelyek miatt a detonációs hullám sokszor visszaverődhet, és a detonációs hullám nyomása jelentősen lecsökkenhet. Ugyanekkor a robbanási gázok a repedésekbe behatolva azt továbbnyithatják, és így a közet megbontását eredményezik. Ez magyarázza azt, hogy a viszonylag homogén szerkezetű betontárgyak bontásánál előnyösen alkalmazhatók a nagy detonációs sebességű robbanóanyagok, addig a vulkanikus kőzetek bontásához megfelelő az alacsony detonációs sebességű ANDO is, annak ellenére, hogy a hang terjedési sebessége ez utóbbi esetben nagyobb, mint a betonban terjedő hang terjedési sebessége.

Homogén izotróp testben egy pontban elhelyezett robbanóanyag felrobbantása után a keletkező repedési rendszert a 4.1. ábrán lehet látni.

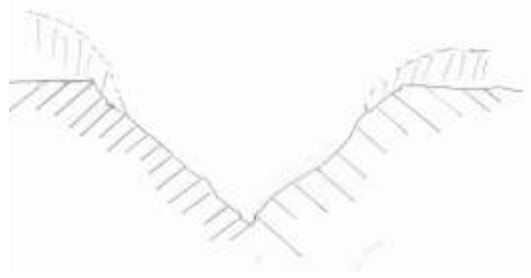
A kialakuló repedések oka mindegyik sávban az, hogy a robbantási lökéshullám hatására kialakuló feszültségek túllépik a közet húzószilárdságát. Ez a robbanóanyaghoz közeli első sávban az által keletkezik, hogy a detonációs nyomás hatására a közet egy gömbfelületen tágul. A második sávban létrejött repedések oka, hogy a gömbfelületről visszaforduló nyomáshullám kelt a gömbön sugár irányú feszültséget. A felületen keletkező repedések a felület elmozdulása miatt keletkező húzófeszültség hatására keletkezik, míg az ez alatt lévő repedések azért keletkeznek, mert a felületről visszaverődő hullám okoz sugár irányú húzófeszültséget.



4.1. ábra

Homogén izotróp anyagban kialakuló repedések a pontszerű robbantás hatására

Ha a négy repedésrendszer összeér, vagy egymásba fut, akkor a megbontott anyag kivetődik és kráter képződik. (4.2. ábra).



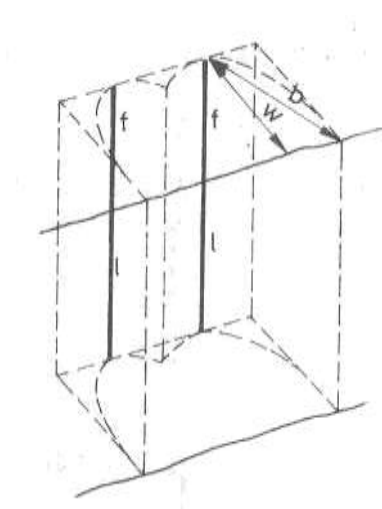
4.2. ábra
Robbantási kráter

Rosszul tervezett, vagy kivitelezett robbantásnál előállhat olyan állapot, hogy repedésrendszerek nem érnek össze. Ilyenkor a 4.3. ábra szerinti lózsák keletkeznek. Végül, ha a nagyon mélyen elhelyezett robbanóanyag



4.3. ábra
A lózsák

felületi repedéseket sem hoz létre, és a felület érintetlen marad, akkor kamuflett robbantásról beszélünk. A szeizmikus kutatást szolgáló robbantások ilyenek.



4.4. ábra

A szabad felülettel párhuzamos elrendezésű nyújtott töltetek hatásidomai
 l – a töltet hossza, f – a fojtás, w – az előtét hossza, b – a hatásidom széle, a
 kőzetmegbontás határa

A kivitelezett robbantások töltetei szinte minden esetben nem pontszerűek, hanem úgy nevezett nyújtott töltetek. Már a robbanóanyag egyetlen tölténye is nyújtott töltetnek számít. A 4.1. – 4.3. ábrák szerinti töltet elrendezésben a szabad felület és a töltet közötti távolságot előtétnek nevezzük. Könnyű belátni, hogy nyújtott töltetek esetén, ha a szabad felület a töltettel párhuzamos jobb robbantási eredményt remélhetünk. Az így elhelyezett töltetek hatásidomai a 4.4. ábrán láthatók. Ebből egyenesen következik az is, hogy a robbantásoknál lehetőleg minél előbb az ilyen elrendezés elérésére kell törekedni, mely különösen fontos a mélybányai robbantásoknál a vágathajtásnál és az alagút építésben.

4.2. Robbantás folyadékban

A folyadékokban húzó feszültségség nem léphet fel, ezért csak nyomás keletkezhet. A víz, és általában minden folyadék, a lökeshullámot szinte csillapítás nélkül vezetik, a nyomáscsökkenés csupán attól következik be, hogy a robbantással keltett energia gömbfelületen terjed tova, ha valamilyen akadály ebben nem gátolja, illetve nem kényszeríti a hullámot energiája nagyobb mértékű megtartására. A gömb alakú hullám nyomására a következő összefüggés érvényes:

$$(4.2.) \quad p = 53,7 * (Q^{1,13}/R)^{1/3}$$

ahol Q a felrobbantott töltet tömege

R a robbantás helyétől mért távolság

Ennek az összefüggésnek a vizsgálatából megállapítható, hogy víz alatt végzett robbantások esetén különösen gondoskodni kell arról, hogy a robbantástól még nagy távolságban sem tartózkodjon senki. A robbantáskor keletkező detonációs hullám a vízfelszínre kifutva általában kisebb mértékben emeli meg a víz felszínét hullámot keltve, a robbanási gázok felszínre törése azonban nagy vízoszlopot is a levegőbe lövelhet.

4.3. Robbantás levegőben

A robbantás hatására, ha azt nagy magasságban végzik el, detonációs gömbhullám keletkezik, melynek nyomása a gömbszerű terjedés miatt a távolság köbgyökével csökken. A talajfelszín a gömbhullám terjedését befolyásolja, így a sík talajon elvégzett robbanás hatására keletkező nyomás:

$$(4.3.) \quad p = 15,8 * Q^{0,584}/R^{1,512}$$

ahol Q és R a 4.2. összefüggésnél már megadott változók.

A nyomáshullám terjedését és csúcshullámot befolyásolja a lökeshullám útjába kerülő akadály, mely annál nagyobb csillapodást okoz, minél közelebb van a robbanáshoz. Robbanóanyag raktárak telepítésénél ezért építenek védősáncot.

Külszínre nyíló bejáratú robbanóanyag raktár esetén pedig ezért létesítenek a raktár bejárata elé beton védőfalat.

5. Robbantási technológiák

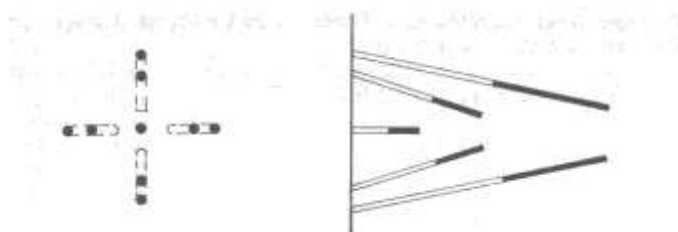
Robbantási munkát végezni csak érvényes robbantási engedéllyel lehet, melyet kérelem elbírálása után ad ki az illetékes bányahatóság. Azokban az üzemekben, ahol a robbantások rendszeresek az engedély alapján robbantás technológiai elírást kell készíteni (RTE), és azt a robbantó-mestereknek átvételi elismervény ellenében ki kell adni. Egyedi robbantási engedélyt a bányahatóság kérvényezés alapján akkor ad ki, ha a robbantásokat nem üzemszerűen végzik, hanem csak egy meghatározott munka elvégzése céljából (például épület, építmény robbantásos bontása). Ekkor természetesen RTE készítése nem szükséges, még akkor sem, ha a robbantási munka hosszabb ideig eltarthat. Ezek az egyedi robbantások, míg a bányában végzett ismétlődő robbantások az üzemi robbantások. Az üzemi robbantások a bánya elhelyezése szerint lehetnek földalatti és külszíni robbantások.

5.1. Földalatti robbantási technológiák

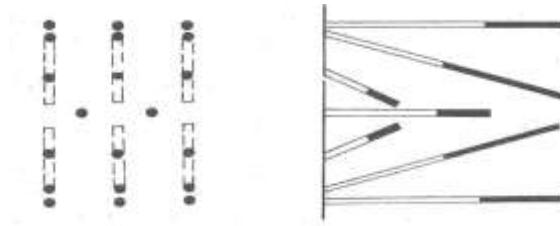
A földalatti robbantási technológiák a robbantások céljával különböztethetők meg.

5.1.1. Vágathajtás és alagút építés

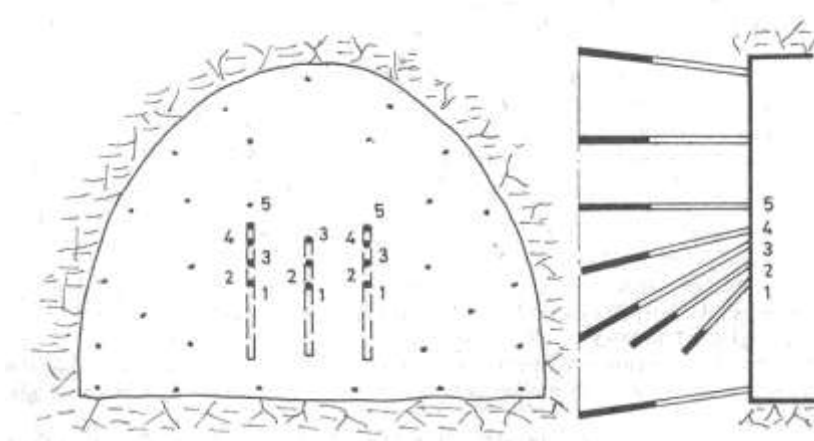
A leggyakoribb robbantási feladatok közé tartoznak a vágathajtási technológiák. A legtöbb problémát az szokta okozni, hogy néhány töltet robbantásakor a szabad felület néhány töltet tengelyére merőleges, és csak ezek robbantása után képződik olyan belső felület, mely a később robbanó töltetekkel párhuzamos. Ezek a töltetek adják a „betörés” robbantó lyukait. A betörés megválasztása a kőzetek minőségétől függ, és bányánként változhat. A leggyakrabban alkalmazottak közül három látható az 5.1. – 5.3. ábrákon. Az 5.3. ábrán azonnal feltüntettük a „koszorú lyukakat” is, amelyek a betörés kirobbantása után már párhuzamosak a szabad felülettel.



5.1. ábra
Kétlépcsős kúpos betörés törő lyukkal



5.2.. ábra
Kétlépcsős fekvőékes betörés törő lyukkal



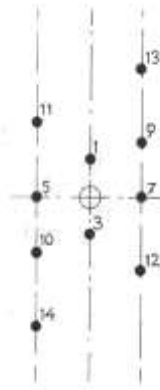
5.3. ábra
Alsó legyezős betörés és a koszorú lyukak telepítése

Mivel a betörés robbantásának a célja, hogy szabad felület keletkezzen, ez a feltétel megszabja azt is, hogy az egyes lyukak, illetve lyukcsoportok között nagy időzítési különbség legyen, melynek ajánlott értéke legalább 100 ms. A koszorú lyukak időzítése ugyanígy kívánatos nagy késleltetésű gyutacsokkal. Előnyösen alkalmazhatók ekkor a félmásodperces gyutacsok.

Az 5.1. – 5.3. ábrákon lévő betörések általában kisebb felületű vágatok, illetve kisebb fogásmélységű vágatok esetén használatosak. Alagútak robbantással történő kihajtása esetén kívánatosak a nagy fogás-mélységek. Ilyen esetekben előnyösen alkalmazzák az üres lyukas betörési módot, ahol a nagytátmérővel fűrt



5.4. ábra
Nagytátmérőjű üres lyukas betörés vázlata

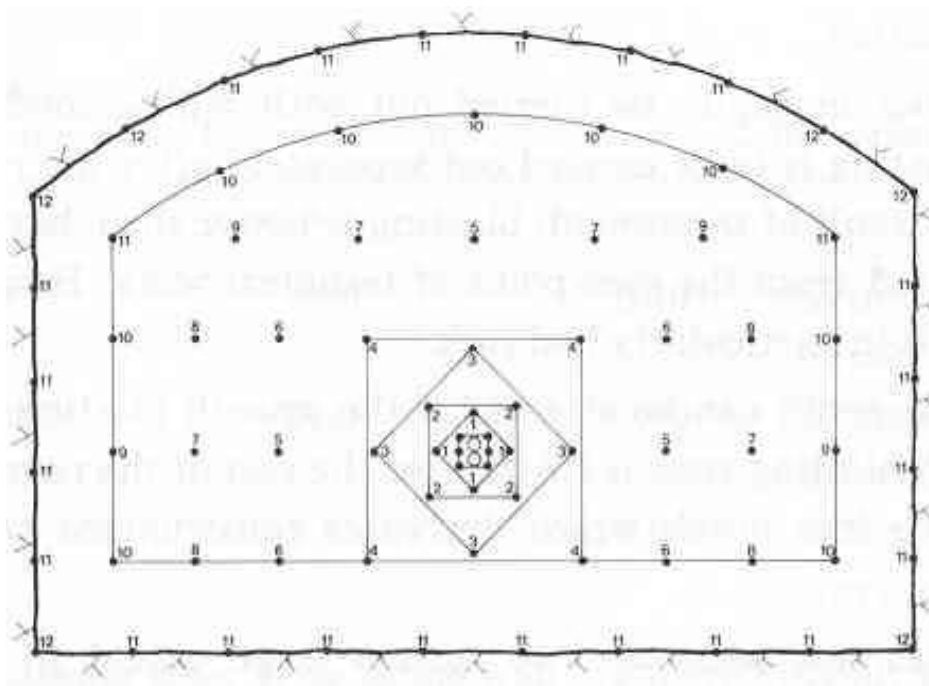


5.5. ábra

Nagy átmérőjű üres lyukas betörési mód nagy fogásmélységekhez

üres lyukat szabadfelületként használják a közvetlen mellette robbantott lyukhoz. Ilyen betörési forma látható az 5.4. és az 5.5. ábrán. Az 5.6. ábrán pedig egy nagyobb szelvényű alagút építéshez alkalmazott lyuktelepítési mód látható. A betöréshez ekkor is nagy átmérőjű üres lyukat használtak.

Nagyon nagy szelvények robbantásához Ausztriában dolgoztak ki egy újabb technológiát, melynél betörésként egy kisebb felületű vágatot hajtanak ki a teljes szelvény felső felében. A kihajtott vágattal párhuzamosan fúrt robbantólyukak-



5.6.. ábra

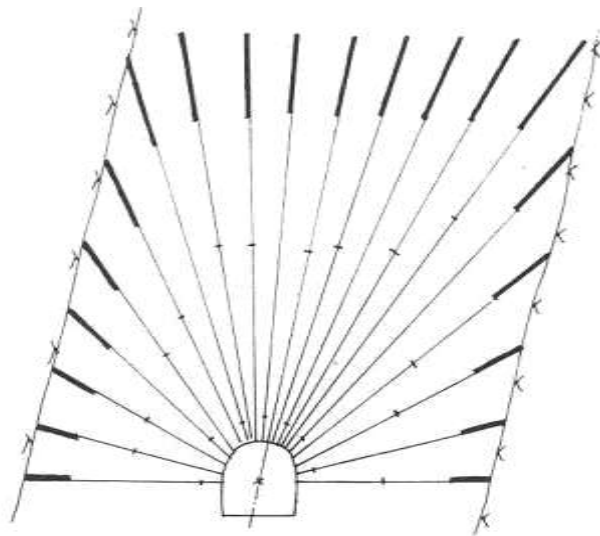
Alagút építéshez használt lyuktelepítés nagy átmérőjű üres fúrólyukas betörési móddal

kal robbantják ki a teljes szelvény felső részét. A megmaradt részt pedig függőlegesen fűrt robbantólyukakkal robbantják. A technológiát vasutak és autópályák alagútjainál alkalmazzák.

5.1.2. Robbantásos fejtések mélybányákban

A vágatok kihajtásának minden esetben az a célja, hogy a kibányászni kívánt ásványt elérjék, és azt fejteni tudják. A fejtések nagyságát elsősorban az szabja meg, hogy milyen állékony a főte, és mekkora üreg nyitható ki biztonságosan. A leggyakoribb elsősorban az ércbányászatban a kamra fejtés. Ekkor néhányszor tíz négyzetméter alapterületűtől néhány száz négyzetméterig terjedő területeket nyitnak ki általában a vágathajtásnál használt robbantási technológiához hasonló technológiával. A kinyitott üreget, ha a főte állékonyasága lehetővé teszi, ferdén fölfelé irányuló robbantólyukakkal magasságban is bővítik. Ehhez gyakran a már kinyitott üreget meddő kőzettel töltik fel olyan magasságig, hogy efölött a bányászkodás kényelmesebben végezhető legyen. A kinyitott üreg felhagyásához a kamra oldalán visszahagyott pillérek robbantásához gyakran nagy tölteteket kell felhasználni, ami esetlegesen szeizmikus problémákhoz vezethetnek.

Szénbányák esetén a kamrafejtés helyett gyakrabban a frontfejtést alkalmazzák, főleg, ha a széntelep viszonylag hosszabb kifutására, és kis számú, kis mértékű vetőkre lehet számítani. Ekkor a széntelep két oldalán gyakran akár száz métert is meghaladó távolságban két vágatot hajtanak ki, melyeket a telep végén vágattal kötnek össze, melyet leggyakrabban hidraulikus támokkal biztosítanak. A szén fejtésére ekkor fejtőgépet használnak, és csak rendkívüli esetekben folyamodnak robbantáshoz. Ilyen eset lehet a közkő lazítása, vagy a front végén annak a szélnek a robbantása, melyet a fejtőgép nem tud lefejteni. A front akkor működtethető biztonságosan, ha a főte omlása a fejtéstől néhány méteren belül magától megindul. Ha ez a kemény főte miatt nem történik meg fennáll a bányarengés veszélye, melynek elkerülésére provokációs robbantásokat kell



5.7. ábra
Nagy fejtési üregek létrehozása robbantással

végrehajtani. A provokációs robbantások szükségét nagy bányák esetén és nemcsak szénbányáknál, a kőzet által keltett mikroszeizmikus hullámok megfigyelésével lehet meghatározni, és a bányarengést elkerülni.

Nagy mennyiségű érc termelésnél gyakran néhány köbkilóméter térfogatú üreget is kihajtanak. Ekkor az üreget egy előre kihajtott vágatból legyezőszerűen fűrt robbantólyukakkal bővítik. Ilyen fejtési mód az 5.7.. ábrán látható. Az így kinyitott üregből a robbantott készletet távirányított szállítógépekkel lehetséges. Ekkor is szeizmikus problémákhoz vezethet az üreg megszüntetését szolgáló pillérlikvidáció.

5.1.3. Provokációs robbantások

Nagy kinyitott üregek esetén, mint arra már az előző fejezetben célzás történt, fennáll annak a veszélye, hogy az üreg omlása nem ellenőrzött formában történik. A véletlenszerű omlások következménye a bányarengés, mely szénbányák esetén metángáz robbanáshoz hasonló katasztrófákhoz vezethet, mert a nagy nyomást a szénfal elviselni képtelen, így az finom port képezve a főte alatt összeomlik. A főte leszakadása az összeomlott szénréteget nagy légnyomással képes a bánya nagy részét, vagy az egész bányát betéríteni. Ennek emberi életre és a bánya berendezéseire való következményeire nem kell különösen kitérni. A katasztrófa elkerüléséhez a főte omlását provokálni kell robbantással, melyhez a főtében kell elhelyezni gyakran több méter hosszú ferdén felfelé fűrt robbantólyukakat. A robbantólyukak töltését ez esetben valamilyen módon a visszacsúszástól meg kell akadályozni. A hosszú robbantólyukak töltésénél általában problémát jelent a szűk hely, melyet a toldható töltőpálcákkal lehet megoldani.

Ércbányák esetén a nagy kinyitott üregek esetén az üreg spontán összeomlása az előbb említett katasztrófához hasonló állapothoz vezethet. Ebben az esetben is provokálni kell az omlást a visszahagyott pillérek felrobbantásával. A nagy pillérek robbantásához szükséges robbanóanyag mennyisége nagyon nagy lehet, így gyakran szeizmikus problémákhoz vezet.

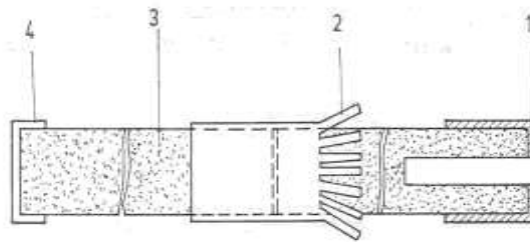
5.1.4. Kőzetkímélő robbantások, elő- és utóhasítás a vágathajtásnál és az alagút építésben

Azoknál a vágatoknál amelyeket hosszú ideig kívánnak fenntartani (például szállítóvágat), és alagutak esetében, kívánatos, hogy a robbantás után visszamaradó fal a lehető legállékonyabb legyen, ne legyenek nagy felszakadások és lehetőleg kis hátűr kitöltést kelljen alkalmazni. A cél eléréséhez gyakran alkalmazzák a kőzetkímélő robbantásokat. Ekkor a 4.10. ábrán a kontúrlyukak távolságát felére, harmadára csökkentik, mely lehetővé teszi a robbantólyukba töltendő robbanóanyag mennyiségét felére, harmadára csökkenteni.

Ezt a csökkentést több módon is el lehet érni. Vagy úgy, hogy a lyukátmérőhöz viszonyítva lényegesen kisebb átmérőjű csőbe töltött robbanóanyagot használnak, vagy a töltetet megszakítják és az egyes tölteteket robbanózsínórral kötik össze. Szokásos az is, hogy a robbantólyukba nagytöltetű (20 g/m, vagy még ennél is nagyobb töltetű) robbanózsínórt töltenek. Az így letöltött robbanóanyagot a lehető legpontosabban egyszerre indítják. Az egyszerre indítás elérésének legegyszerűbb módja a tölteteket robbanózsínórral indítani a fő robbantás előtt (előhasítás). Ekkor kapjuk a legállékonyabb falat.

Ha az előhasítás valamilyen ok miatt nem kívánt, akkor is kívánt az összes kontúrlyuk egyidejű indítása erősen csökkentett töltetekkel (utóhasítás).

A töltetek lehető egyszerre indítása mellett kívánatos az is, hogy a csőtöltet lehetőleg a robbantólyuk közepén helyezkedjen el. Erre szolgál a csőtöltetekhez kifejlesztett központosító betét, mely egyben azt a célt is szolgálja, hogy a kisátmérőjű csőtöltet miatt ne jöjjön létre a csatorna effektus, mely a töltetelálláshoz vezetne. A központosító rajza az 5.8. ábrán látható. Ez a megoldás lehetővé teszi ferdén felfelé fűrt robbantólyukokban elhelyezett töltetek visszacsúszását is.



5.8. ábra

Csőtöltet központosító betéttel

1.lezáróvég gyutacsfészekkel, 2. központosító betét, 3. robbanóanyag,
4.lezáróvég

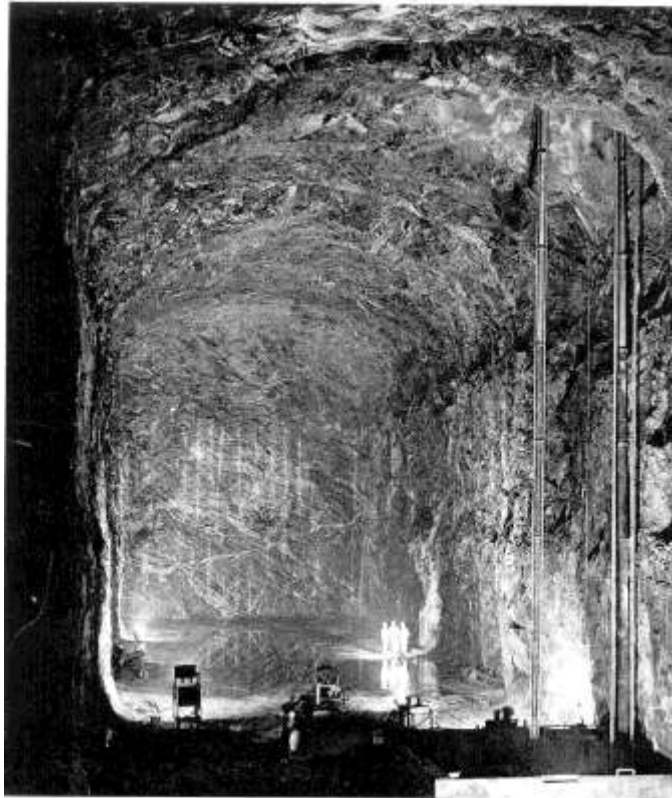
A kőzetkímélő robbantásokkal a Bányászati Kutató Intézet foglalkozott kísérleti jelleggel hazánkban. A sikeres kísérletek ellenére nem sikerült ezeket a robbantási technológiákat üzemszerűen bevezetni.

Kemény kőzetek esetén ezzel az eljárással nagyon nagy üreg is létrehozható, mely akár folyadékok tárolására is alkalmassá tehető. Egy ilyen üreg fényképe az 5.9. ábrán látható, melyet Svédországban készítettek.

5.2. Külszíni bányák robbantás technológiái

A külfejtéses robbantási technológiákat az jellemzi, hogy a kőzetek jövesztését nagy átmérőjű (60 mm-nél nagyobb átmérőjű) robbantólyukakkal végzik, melyek hossza a nagy falmagasságok miatt 15 – 30 m körüliek, de ennél magasabb falakkal is végeznek egyes bányákban robbantásokat. Ezek a nagyrobbantások. A kisátmérőjű furatokat csak a méreten felüli tömbök

aprítására használják. Ez alól kivételt képeznek a tömbkő fejtését végző bányákban, ahol a kőzet minél nagyobb mértékű kímélése szükséges, így csak kisátmérőjű (40 – 44 mm átmérőjű) robbantólyukakat használnak.

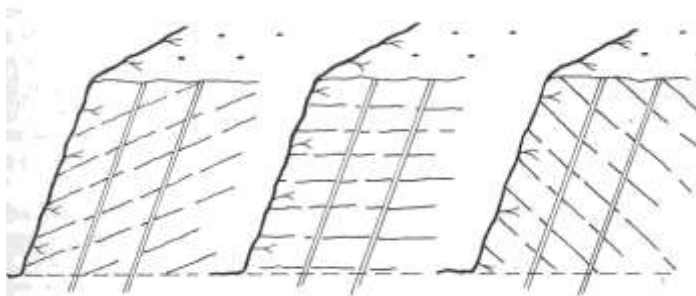


5.9. ábra

Nagyméretű tároló kemény kőzetben kímélő robbantással kialakítva

5.2.1. Nagyrobbantások

A nagyrobbantások tervezését célszerű már a bánya nyitásával kezdeni. Már ekkor figyelembe kell venni a bányászni kívánt kőzetben lévő rétegződéseket és



Helytelen

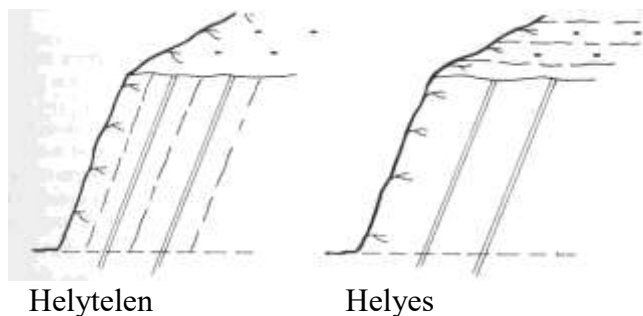
Helyes

Helyes

5.10. ábra

A kőzet rétegződéséhez helyesen és helytelenül megválasztott lyuktelepítés

repedés rendszereket. Mivel a bányafalak dőlésszögét kívánatos 65° körülnek választani, biztonsági szempontból is a bányászott kőzet való lapjai is erre közelítőleg derékszöget zárjanak be. A helyesen és helytelenül megválasztott rétegződésre szolgáljon például az 5.10. ábra. A lyuktelepítésnél ugyancsak gondolni kell a függőleges, vagy közel függőleges való lapokra is. Ehhez szolgáljon az 5.11. ábra.

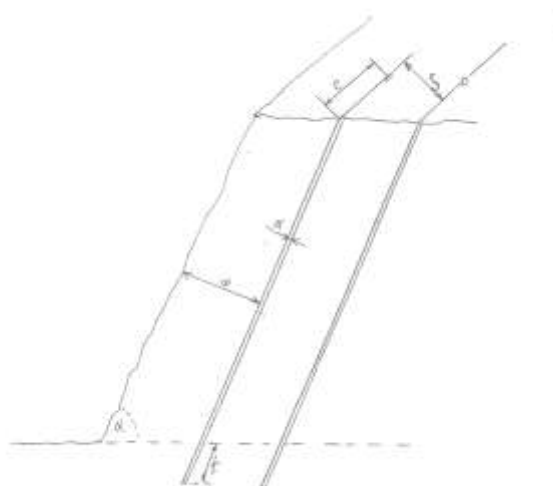


5.11. ábra

A lyuktelepítés helyes megválasztása függőleges rétegződés esetén

A rétegződéshez helytelenül megválasztott lyuktelepítés rossz robbantási eredményekhez vezethet, amely a nem megfelelő aprózódásban és nagy batárszámban is jelentkezhet. Ennél nagyobb problémát okozhat viszont az állandósuló omlásveszély.

A bánya kőzetének rétegződése alapján, valamint néhány robbantás tapasztalatával, kell eldönteni azt is, hogy a függőleges lyukak készítése elegendő-e a megfelelő bányaudvar kialakításához, vagy szükséges a függőleges lyukak mellett aláfúrásos lyukak fúrása is. Ha a kőzetviszonyok, vagy a robbantási tapasztalatok arra utalnak, hogy az aláfúrás elhagyható, akkor a függőleges lyukak hosszát az előtét nagyságának $0,3 - 0,5$ szeresével meg kell



5.12. ábra

Robbantólyuk telepítése ha az aláfúrás elhagyható

w - előtét, t – túlfúrás, d – robbantólyuk átmérő, e – lyuktáv,
s – сортáv, α – fal és lyukdőlés

növelni. Ez a túlfúrás. Ekkor a tervezési szelvény az 5. 12. ábrán látható. Ha a robbantások után rendszeresen lábak maradnak vissza, melyeket ismételt fúrással és robbantással kell megszüntetni, akkor célszerű aláfúrást alkalmazni. (5. 13. ábra).



5.13. ábra
Függőleges lyukak és az aláfúrás lyukainak telepítése

A robbantási technológia kialakításánál a legfontosabb kérdés a helyes előtét (w) választás, melyre a robbantástechnikai irodalom javaslata szerint a minimális és a maximális értékre a következő összefüggés érvényes ha d -vel jelöljük a robbantólyuk átmérőjét:

$$(5.1) \quad 20 \cdot d \leq w \leq 45 \cdot d$$

Az általános gyakorlat viszont arra utal, hogy ezen képletet is elfogadva a megfelelő előtétet apró lépésekben való változtatással kell meghatározni addig amíg az optimális előtétet meg nem kapjuk.

A nagyrobbantás következő tervezési lépcsőfoka a robbantólyukak hosszának és dőlésszögének meghatározása. Ehhez minimálisan szükséges annak ismerete, hogy a robbantásra kerülő front falának mekkora a dőlésszöge és a falmagassága. Ezt a minimális igényt a front peremvonalának és talpvonalának felmérésével tudjuk meghatározni. Ebből a két adatból közelítőleg megszerkeszthető a kitzúásra kerülő front néhány szelvénye, amelyek ismerete szolgál a robbantólyukak ezen szelvényeken való megszerkesztésére. A szelvények alapján lehet a kimért és megszerkesztett bányatetőn bejelölni a fúratsor, vagy a fúratsorok helyét, és ezen belül az egyes fúratok helyét.

Az első sor, és a további sorok helyét a bányatetőn a következő képlettel lehet meghatározni:

$$(5.2.) \quad s = w / \cos \alpha$$

A lyukak távolságára vonatkozóan az a tapasztalat, hogy akkor kapunk jó aprózódást, ha az e/w viszonyt egy még elfogadható határon belül minél nagyobbra választjuk. Általában azt lehet javasolni, hogy a kedvező arány: 1,3 - 1,5. Az $e \cdot s$ szorzatot munkaterületnek nevezik, mely jellemző szám egy külfejtéses bánya lyuktelepítésre. A tervezésnél ennek optimális értékére kell törekedni. Az optimális értéket ismételt apró lépésekkel történő változtatásokkal lehet meghatározni.

Mivel a bányafal a korábbi robbantások miatt általában kissé töredezett, így a szórásveszély az első sor esetén jobban fennállhat, a gyakorlatban az első sor távolságát a peremvonalától nagyobbra választják, mint azt a számítások indokolják. Ahhoz hogy az optimális munkaterület tartható legyen esetleg megváltoztatják a lyuktávolságokat. A második, vagy esetleg a harmadik sor kitűzésénél erre nincs szükség.

Ha a kitűzésre kerülő front fala közelítőleg sem egyenletes, akkor nem lehet megelégedni a peremvonal és a talpvonal felvételével, hanem „szelvényezni” kell, mely egyszerű eszközökkel (teodolit és a megfigyelési pontokat rögzítő köteles segédeszköz) időrabló munka. Az újabb eszközfejlesztések alapján viszont ma már van olyan GHz (gigahertz) frekvenciatartományban működő falbemérő és szelvényező eszköz, mely számítógéppel támogatott, és így a teljes nagyrobbantás tervezése is egyetlen műszak alatt elvégezhető, mely időtartamba a terepi munkát is bele kell érteni.

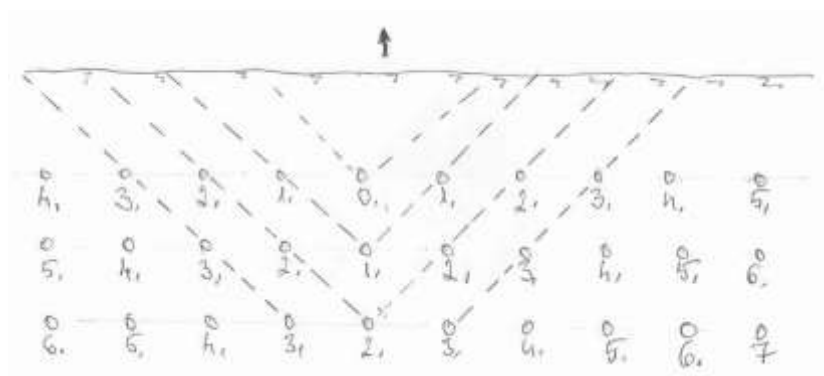
Miután a szelvényezés alapján a felvett bányatető térképen a robbantó-lyukak kitűzésre elegendő pontossággal (körülbelül ± 10 cm) megjelölésre kerültek, célszerű elkészíteni a fűrómesterek számára is egy fűrási adatlapot, mely tartalmazza egyértelműen a fűrólyukak jelölését, valamint a fűratok mélységét, dőlésszögét, és azt, hogy a fűrómester fűró-száranként mit tapasztalt (például: esett a fűrószár = kavernába ment a fűrat, porkimaradás = nagy repedés, vagy kaverna, stb.). Ugyancsak célszerű elkészíteni a fűratok elhelyezése és hossza alapján az egyes robbantólyukakba kerülő robbantóanyag mennyiségét és az időzített gyutacs számát. Mindezt összegezve felülvizsgálható, hogy van-e a robbantóanyag raktárban elegendő robbanóanyag és gyutacs, vagy azonnal leadható a megrendelés mind a szükséges robbanóanyagra, mind a gyutacsra. Ehhez természetesen azt is meg kell becsülni, hogy a robbantáshoz szükséges fűratok mikorra várhatóan készülnek el. Ehhez a szükséges robbantóanyag tervhez kell a fűratok elkészítése után csatolni a fűrómester által elkészített adatlapot, melyet átvizsgálva azonnal meg kell jelölni azokat a robbantólyukakat amelyeknél a töltést a megjelölt ok miatt különös gonddal kell végezni. A teljes dokumentációhoz tartozhat még egy töltési adatlap, melyben robbantólyukanként felvételre kerül a tervezett és a letöltött robbanóanyag mennyisége és a gyutacs fajtája. Ez az adatlap nagy segítségre lehet a robbantás költségelemzésekor.

A robbantólyukak helyének megtervezése mellett nagy fontosságú az időzítés megtervezése is. Általános tervezési irányelv, hogy az egymás mellett robbanó lyukak időzítési különbsége 15 – 50 ms közötti legyen. Ez az időzítési különbség nem lehet 100 ms, vagy ennél is több, mert ekkor az előbb robbanó töltet már megbontja kismértékben a mellette lévő robbantólyuk előtétjét is, ami veszélyes mértékű közetszóráshoz vezet.

Általánosan elfogadott, hogy az első második és a további sorok időzítése között 100 ms különbség legyen, és ugyanígy legalább 100 ms-kel később robbanjanak az aláfűrás lyukai. Ezt azzal indokolják, hogy az előbb robbanó sor már tört közetet eredményezzen a később robbanó sor előtt. Ezt az időzítési rendszert használták akkor is, amikor a külfejtések számára csak az öt fokozatú MSG és az

ugyancsak öt fokozatú RKG gyutacsok voltak használhatók, mivel a gyutacsgyár csak ezeket a gyutacsokat gyártotta. Ezért kényszerűségből az első sor időzítése az MSG gyutacsok váltakozó használatával történt. A második sort egyetlen időzítési fokozattal, az RKG 2. fokozattal robbantották, az aláfűrást pedig az RKG 3. fokozatával. Három soros robbantásra általában nem került sor. Az így kivitelezett robbantások maguk után vonták az állandó kisebb-nagyobb szeizmikus problémákat.

A Bányászati Kutató Intézet által elvégzett kísérleti robbantások, melyeket külföldről behozott nagy fokozatszámú gyutacsokkal végeztek, merőben más lyuktelepítéssel és időzítéssel készültek. Ez a lyuktelepítés és időzítési séma az 5.14. ábrán látható. Az ilyen lyuktelepítés és



5.14. ábra

A Bányászati Kutató Intézetben végzett kísérleti robbantások lyuktelepítési és időzítési sémája

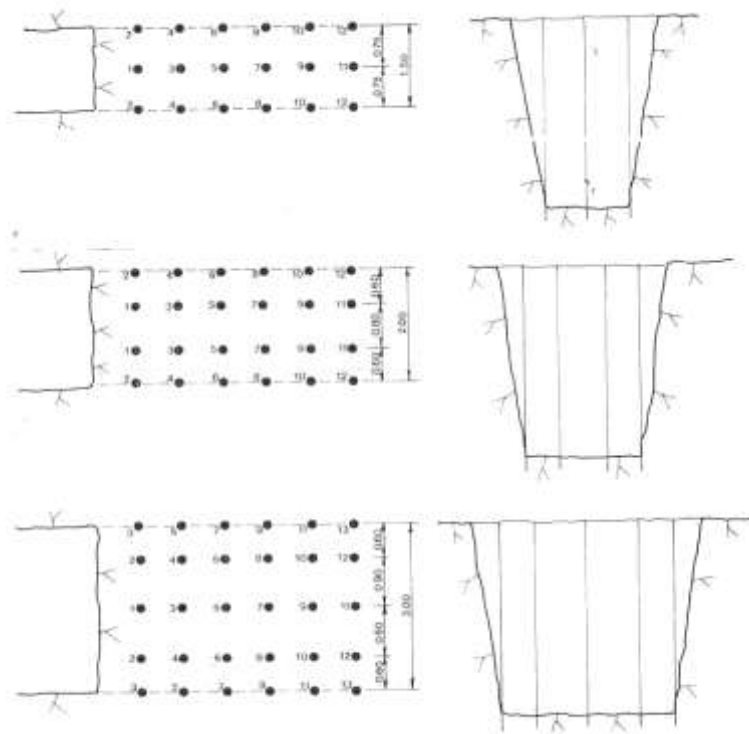
időzítés előnye, hogy az egyszerre robbanó falszakaszok (robbantó lyukak) az eredeti falhoz képest 45^0 -ban elfordulnak. Az elfordítás eredménye, hogy az előtét csökken, ugyanakkor a lyuktávolság nő, így az e/w viszony is. Ez magával hozza azt a reményt, hogy a robbantott közeg szemszerkezete apróbb lesz, a batárok száma csökken. A kísérleti robbantások valóban igazolták ezt az elvárást.

Az 5.14. ábra szerinti időzítés természetesen nonel és elektronikus gyutacsokkal is megoldható. Jó eredményt elsősorban három, vagy ennél is több soros robbantások esetén várható el. Az ilyen lyukosztás és időzítési mód hazánkban még nem terjedt el feltehetően azért, mert a bányák még idegenkednek a kettőnél több soros robbantásoktól.

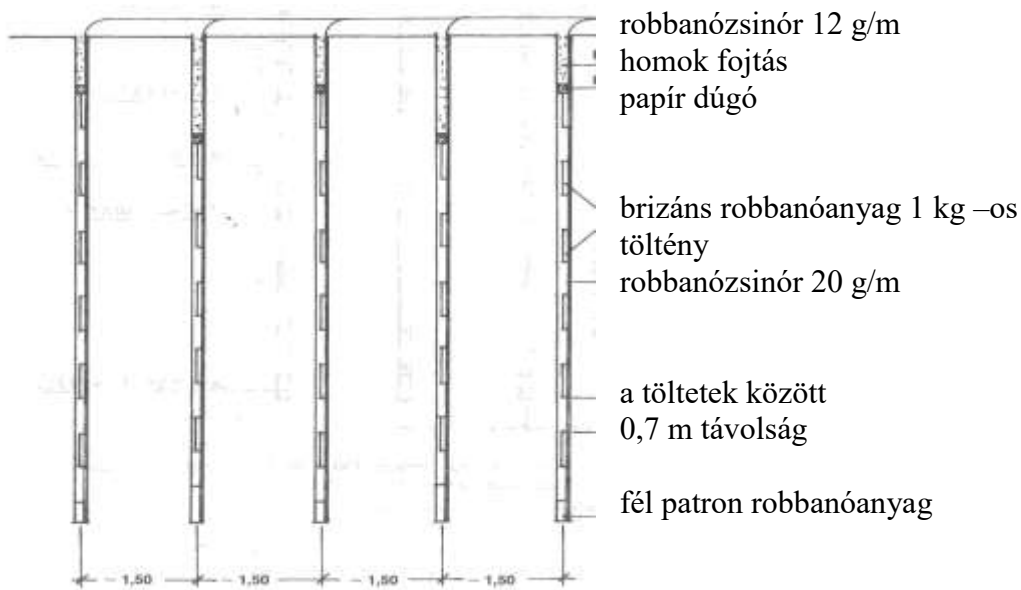
5.2. Árkok és mély bevágások robbantása

Az árkok robbantásánál az szokott problémát jelenteni, hogy a visszamaradó falak kiképzésére szolgáló robbantólyukak beszoríttósága nagyon nagy, ezért az árok kontúrját csak úgy lehet kiképezni, ha a megmaradó fal melletti robbantólyukak indítását legalább egy fokozattal később indítják, és az árok közepére telepített robbantólyukakhoz is közelebb telepítik. A lyuktelepítés az árok méretéhez képest is változhat. Ugyanígy célszerű változtatni a

robbantólyukak átmérőjét is. Kisebb mélységű árkok esetén elegendő lehet a 40 - 45 mm átmérő, míg nagyobb mélység esetén kívánt lehet a 60 mm átmérő is. Az időzítési fokozatok között is kívánatos legalább az 50 ms időzítési különbség. A feladatok sokoldalú megoldási lehetőségére példa a az 5.15. ábrán vázolt három megoldás különböző mélységű és szélességű árkok estére.



5.15. ábra
Példa három féle árok robbantási sémájára



5.16. ábra
Osztrák javaslat bevágások falának kőzetkímélő robbantására

Ha a visszamaradó fal minősége nem okoz különösebb gondot, például azért, mert később a csővezeték lefektetése után az árkot betemetik, akkor a fal minősége is megfelelhet egyszerű robbantásként. Ha azonban a fal minőségéről, elsősorban simaságáról is gondoskodni kell, például azért mert a visszamaradó falalatt közlekednek akár gyalogosan akár járművekkel, a fal kiképzését is kőzetkímélő robbantással kell megoldani. Ilyen lehet autópálya, autóút, vagy vasúti bevágás kiképzése. A visszamaradó fal mentén lévő robbantólyukakat ilyenkor csökkentett robbanóanyag mennyiséggel robbantják, és nagyon pontosan egy időben lehetőleg minél több robbantólyukat, azaz egyszerre több lyukat is egyetlen gyutacsfokokozattal indítanak és a töltetek indító töltetként robbanózsínórt használnak. Ilyen javasolt robbantási mód látható az 5.16. ábrán nagy átmérőjű robbantólyukakkal végzett kőzetkímélő robbantásra.

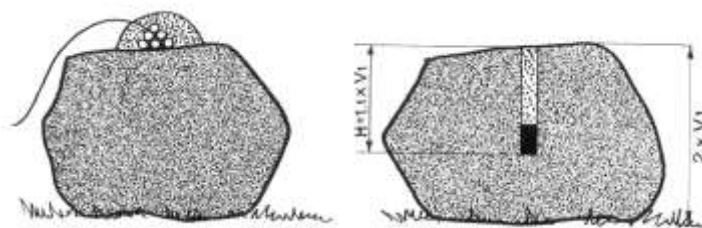
Mint az az 5.16. ábrából kikövetkeztethető az ilyen töltési mód eléggé időrabló és nagy figyelmet kíván, ezért ha gyorsabb töltési munkára van szükség aligha használható. Ezen probléma megoldására a Bányászati Kutató Intézetben egy norvég töltési módot tovább fejlesztettek. Ekkor a robbanóanyag mennyiségének csökkentésére a műtrágyából készített ANDO robbanóanyagot 30-50%-ban fűrészporral keverve töltötték olyan robbantólyukba, amelybe egy 1kg-os paxit töltény segítségével két szál 12 g/m töltetű robbanózsínórt helyeztek. Az így töltött lyukak lyuktávolságát a kontúrban a jövesztő robbantólyukak lyuktávolságának felére (1,5 m) vették, és egyszerre legalább 4 – 5 robbantólyukat robbantottak egyetlen gyutaccsal indítva egy robbanózsínóros vezetősál használatával. Ezt a módszert sikerrel alkalmazták vasúti bevágás készítésénél.

Amennyiben a fal állékonysága még a kímélő robbantások után visszamaradó falak állékonyságánál is nagyobb állékonyságot kíván, úgy a fal kiképzésére az „in line” (ejtsd: in lánj, jelentése: vonalban) fúrási módot javasolják. Ekkor a kontúr furatait egymástól 15 - 20 cm távolságban fúrják egymáshoz képest nagyon precízen párhuzamosan. Ezeket a furatokat nem robbanják, hanem a furatsor előtt robbantott robbantólyukak hátrahatásától várják el a kőzetfal omlását.

5.3. A méreten felüli tömbök robbantása, batározás

A nagyrobbantásokból származó készletben szinte mindig akad olyan nagyméretű tömb, amit nem lehet a törőre feladni. Ezek a batárok, melyeket utódarabolással össze kell törni. Ma már léteznek batározó gépek, de még ezek mellett is szokás a batározást robbantással elvégezni. Ehhez a batárt leggyakrabban függőleges lyukkal a batár függőleges méretének 2/3 részéig fúrják, mely lyukba körülbelül $0,1 \text{ kg/m}^3$ robbanóanyag kerül. Ha valamilyen ok miatt nincs idő a fúrás el- végzésére akkor a robbantást rátett töltettel végzik el. Ekkor a robbanóanyag felhasználás körülbelül 1 kg/m^3 . Ebben az esetben számítani kell a nagy légnyomás keletkezésére, így esetleg csökkenteni kell a robbantásra kerülő batárok számát, azaz több robbantást kell végezni. Valamelyest csökkenthető a léglökés nagysága, és növelhető a

robbantáshatásossága, ha a rátett töltetre valamilyen burkolatot készítenek (anyag vagy vizes homok fedés). A batározás két formája az 5.17. ábrán látható.



5.17. ábra
A batározás két formája

5.4. Tömbkő fejtés

A tömbkő fejtés a kőbányászat egy eléggé speciális formája amennyiben az így bányászott nagy tömböket további megmunkálás, illetve feldolgozás céljából fejtik. Ezeknek a tömböknek a nagysága gyakran több köbméter. Mivel a feldolgozás megköveteli, hogy a tömbben még hajszálrepedések se legyenek, a fejtésnél a robbantást amennyire csak lehet mellőzik, vagy ha az mégis szükséges kőzetkímélő robbantást alkalmaznak. Általában a tömböt függőlegesen fűrészeléssel, vagy egy erre a célra készített fúrat irányító berendezéssel nagyon precízen szorosan egymás mellé fúrt lyukakkal (in line fúratok) fúrják, és hidraulikus feszítő eszközökkel repesztik le az „élő” kőzetfalról. Legfeljebb az alsó szél leválasztását végzik robbantással, melynél a sűrűn fúrt lyukakba fekete lőpor töltetet helyeznek. Ezek indítását pillanat hatású gyutacsokkal végzik.

5.5. Épület -, építmény robbantásos bontása

Ezek a robbantások mindig egyedi robbantások, ezért RTE készítése ezekhez nem kell még akkor sem, ha több robbantással végzik el a bontási feladatot. A robbantási engedély ez esetben egyedi robbantás iránti engedély kérelemmel kell megszerezni az illetékes bánya-kapitányságtól.

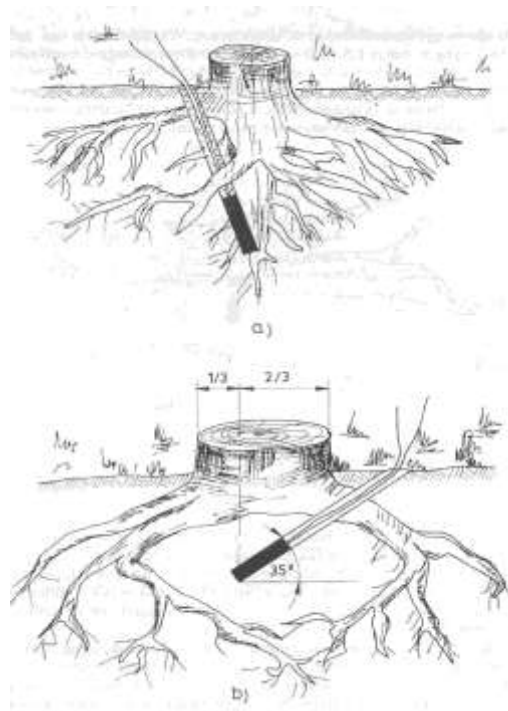
Magas épületek robbantásos bontása általában akkor rentábilis, ha az épület legalább két emeletes. A bontás ilyen formája biztonságosabb, mint a gépi bontás. Gépi bontás esetén a bontást végző gép óhatatlanul a leomló fal közelében van, így állandóan ki van téve annak, hogy a bontásra kerülő szakasz, vagy annak egy része a gépre omolhat, tehát életveszélyes állapotot hozhatnak létre. Robbantásos bontás esetén az omlás közvetlenül a robbantás után következik be, tehát akkor, amikor a robbantás miatt a veszélyes körzetben személyek nem tartózkodhatnak, így életveszélyes állapot nem keletkezhet.

Gyakori robbantási feladat bontás után visszamaradt betonidomok, épület alapok robbantásos bontása. Ezeket ma már gyakran ráverő kalapácsos bontógépekkel végzik. Oka az, hogy a robbantások káros hatásaitól félnek. Az el nem ismert

gyakorlat pedig az, hogy a kőzetszórás elleni védelem egyértelműen megoldható, a robbantások számának csökkentésével a léglökés elleni védelem ugyanígy megoldásra kerülhet, a káros szeizmikus hatás pedig egyértelműen kisebb a robbantásos bontás esetén.

Mivel ezek a robbantások általában lakott településeken történnek, ezért gondoskodni kell a szeizmikus károk elhárításáról ugyanúgy, mint a léglökés káros hatásának és a veszélyes mértékű kőzetszórás létrejöttének kizárásáról. Ezekről az intézkedésekről a robbantási engedély iránti kérelem külön fejezetében kell nyilatkozni.

Külön szólni kell a mezőgazdasági célú robbantásokról. A trágya szét-szórását célzó robbantások elsősorban akkor rentábilisak, ha a gépi szétszórás a nagy mennyiség miatt már nem megoldható, vagy a mezőgazdasági üzem nem rendelkezik megfelelő eszközökkel. Erdészeti célú robbantások lehetnek a tuskó robbantások, melynél a töltet elrendezésre kétféle gyökérzet esetén szolgáljon például az 5.18. ábra.



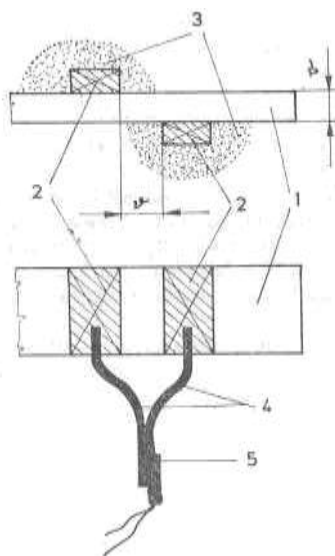
5.18. ábra

Kétféle gyökérzetű tuskó robbantásához a töltet elhelyezése

Ültető gödröket szintén ki lehet alakítani nagyon köves erdei talajok esetén robbantással. Ugyancsak robbantás segítségével vízvezető árkok is tisztíthatók ugyanúgy mint kisebb vízfolyások. Ilyen robbantásokhoz előnyösen használhatók a csőtöltetek, melyek hosszát csupán az korlátozza, hogy mekkora hossz helyezhető még el kézi erővel biztonságosan.

5.6. Fémek darabolása, acéltornyok döntése

Ma már alig használják fémek darabolására a robbantást, mivel ehhez a művelethez nagyon nagy mennyiségű robbanóanyag szükséges. A hagyományosnak tekinthető elrendezés mellett a szórásveszély is igen tekintélyes. Ilyen hagyományos elrendezés látható az 5.19. ábrán, ahol egy acél rúd kettévágását célzó töltetelhelyezés látható. Acélból készített tornyok ledön-



5.19. ábra

Acél idom elvágására elhelyezett töltetek

1. az acél tárgy, 2. a töltetek, 3. homok fojtás, 4. robbanózsín, 5. gyutacs

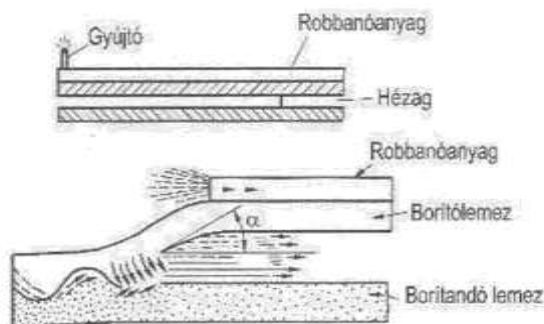
tése ilyen töltetelrendezéssel ma már szinte elképzelhetetlen. Előnyösen használhatók viszont ilyen célra a 2.13. ábra szerinti vágótöltetek. A léglökés elleni védelem természetesen ekkor is sarkalatos kérdés, főleg akkor, ha az egyidejű indítást egyetlen gyutacs és robbanózsín segítségével kell megoldani és a tölteteket valamilyen ok miatt nem lehet lefedni.

Az újabb ilyen irányú kutatások szerint ugyancsak előnyösen használható ilyen céllal a szemtex robbanóanyag, melyből a vágótöltet rézbetétjét formáló alak is kiképezhető. Az így kialakított töltetek vágótöltetként működnek. A szemtex előnyös robbantási tulajdonsága miatt még a töltetek nagysága is csökkenthető.

5.7. Robbantásos plattírozás és fémalakítás

A fémek újszerűen felhasználása igényelt olyan fém-fém egyesítést lapok formájában, melyet közönséges fizikai eljárásokkal nem lehetett létrehozni. Ilyen igény mutatkozott például olyan fém lemezre, melynek egyik oldala réz, a másik alumínium. Ilyen fémlamezt csak robbanással lehet létrehozni, és ezt a műveletet plattírozásnak nevezzük. Ilyen művelet elrendezése az 5. 20. ábrán látható. A robbantás után a két lemezt összekötő felületen hullámszerű, vagy legyező szerű varrat keletkezik, mely annyira jó kötést ad a két fém között, hogy a két lemez egymásról fizikai módszerrel már nem távolítható el. Kőbányai rakodógépek

körmeinek visszahegesztésére, vagy a körmök felületének keményítésére ez a módszer szintén használatos. Vasúti sínek ugyanígy keményíthetők robbantásos plattírozással, mely művelethez robbantókamrát is készítettek.



5.20. ábra
A robbantásos plattírozás vázlata

Egyes fémidomok kiképzésére már korábban is használták a robbantásos módszert, de ezek közül csak azok váltak használttá, melyek fém-sajtoltásos módszerrel nem kivitelezhetők. Ilyen például egy hőcse-rélő csőrendszerének kiképzése a jobb hőátadás teljesítésére (5.21. ábra).



5.21. ábra
Robbantással kialakított hőcserélő idom

6. A robbantómester szerszámai és eszközei

Mivel a robbantások a felhasználás helye és módja szerint különböznek egymástól értelemszerűen nem lehet teljes és mindenre kiterjedő a felsorolás.

6.1. A hordtláda

Faláda, mely alkalmas legyen robbanóanyag és gyutacsok szállítására. Mivel a vállon szállíthatóság feltétel, ezért el kell látni olyan szíjjal, vagy gurtnival, mely elegendő hosszú a láda vállon szállításra, de célszerű ellátni fogantyúval is, hogy kézben is könnyen mozgatható legyen. Lakattal zárhatónak kell lenni, tehát megfelelő pántok is legyenek rajta. Mivel szállítás közben véletlenül is hozzáüthető valamihez, így a láda belsejében lévő robbanóanyagot, de főleg a

gyutacsokat elmozdulás ellen rögzíteni kell, mely célt szolgálhatja valamilyen köthető szíj, vagy heveder. A láda színét semmilyen rendelet vagy előírás nem szabályozza. Ennek ellenére többnyire középzöldre festik.

6.2. A csípőfogó

A gyakorlatban az oldalcsípőfogó vált be legjobban. Jó minőségűnek kell lenni. Ennek ellenére időnként türeszelővel élezni kell. A robbantómesterek rendszerint a fogó csukló részét kalapálással annyira fellazítják, hogy a fogó egyik szárát elengedve az magától kinyíljon. A fogó annyira kisméretű legyen, hogy egyetlen kézben tartva is nyitható és zárható legyenek a fogó pófái. A csípőfogó minden robbantómester sajátja, és minden robbantómestert el kell látni csípőfogóval.

6.3. A szurkáló

Szikrát nem húzó anyagból készüljön, ami legtöbbször sárgaréz. Legyen olyan hegyes, hogy a töltényt és a csomagolását is át lehessen bökní. Vastagsága pár tized milliméterrel legyen nagyobb, mint a gyutacs vastagsága. Célszerű egy műanyag (például danamid) tokot készíteni hozzá, melybe úgy lehessen belecsúsztatni, hogy a szurkálón lévő peremen akadjon fenn. Ha a szurkálón a peremen túl is van egy kisebb hengeres toldalék, melynek átmérője a szurkáló átmérőjével egyezik, akkor ez a tokba fordítva is behelyezhető, így a tok fogantyúként is szolgál. A tok lyukas végére menet készíthető egy lyukas csavar részére, mellyel a szurkáló rögzíthető. A tok másik végére célszerű egy karikán szíjat elhelyezni, melynek segítségével azt a robbantómester a kabátja gomblyukába fűzheti. Így használaton kívül is azonnal elérhető. Ez az eszköz a robbantómester egyéni felszerelése.

6.4. Töltő pálca

Mint külfejtésen, mint mélybányákban általában elegendő egy olyan 2 m hossz körüli rúd, melynek átmérője egy-két cm-rel kisebb, mint annak a lyuknak az átmérője, amelyben használni kívánják. Ha két méternél is lényegesen hosszabb lyukat kell tölteni, (példáuk fejtés, kőbányában az aláfúrás), akkor ennek toldhatónak is kell lenni. Nagyon hosszú lyukak esetén a farúd helyett előnyösebb toldható alumínium csövekből ezt az eszközt elkészíteni. Építmény robbantások esetén lényegesen rövidebb töltőpálca is elegendő. Kisátmérőjű (40-44 mm átmérőjű) és rövid lyukak esetén a fojtás elhelyezéséhez ilyen rövid töltőpalcát célszerű használni.

Kőbányai nagyrobbantások esetén a töltőpálca a lyukak hosszának és állapotának ellenőrzésére is szolgálhat, ha azt megfelelő hosszúságú kötéllel látjuk el. A fojtás elkészítésénél ez esetben nélkülözhetetlen. A töltőpálca nem egyéni eszköz, de megfelelő mennyiségéről és ezek használhatóságáról gondoskodni kell.

6.5. Az ellenállás mérő műszer (Ohm mérő)

Csak a bányahatóság által engedélyezett ellenállás mérők használhatók. A napjainkban kapható műszerek mérőárama 4 mA-t nem haladja meg, ezért a gyutacsok ellenállásának mérésére használhatók. Más Ohm mérő mérőárama ennél nagyobb lehet, ezért azokat használni tilos, nem kívánt indításhoz, így csonkolásos balesethez vezethet. A keresedelemben kapható műszerek ma már digitális műszerek és lényegesen nagyobb mérési pontosság érhető el, mint a korábbi arányos műszerekkel.. Terjedelmük olyan kicsi, hogy a robbantómester zsebben hordhatja. Célszerű a robbantómesternek a robbantógéppel együtt a robbantási napon kiadni, vagy állandó használatra névre szólóan kiadni.

6.6. A robbantógép

A nonel gyutacsok és újabban az elektronikus gyutacsok megjelenésével a robbantógépeket is csoportosítani kell felhasználási területük szerint.

6.6.1. Hagyományos robbantógépek

A párhuzamosan kapcsolt gyutacsok indításához általában erősáramú kapcsolók, vagy speciális robbantógép szükséges, így ezekkel nem lehet ezen könyvön belül foglalkozni. A sorba kapcsolt gyutacsok használatára készített robbantógépek teljesítményük és terjedelmük szerint változó. Kisebb terjedelmű gépeket mélybányászati robbantások-nál, elsősorban nem túl nagy felületű vágathajtásnál, vagy kisegítő robbantásoknál használnak. Kűlfejtések esetén nagyobb teljesítményű gépek szükségesek. A gépek teljesítményét, illetve a kivehető energiát a robbantógép kapacitása és a robbantógép csúcsfeszültsége határozza meg a 3.5. képlet szerint. Ezeket a robbantógépeket a kondenzátor feltöltésének módja szerint is osztályozhatjuk.

A 3. részben leírtak alapján a robbantógépet célszerű minden esetben csúcsfeszültség esetén robbantás állásba kapcsolni. Ugyancsak a 3. rész tartalmazza azokat a számításokat, amely alapján az RTE-ben, vagy a robbantási engedélyben megadott robbantógépet kell használni a robbantásnál.

A kisebb gépeket ki lehet névre szólóan is adni a robbantómestereknek. Ezek súlya legfeljebb 2 kg, értékük alapján több is beszerezhető, így nem jelent problémát a napi használatnál a többi robbantási felszereléssel az egyúthordozás. Nagy kapacitású gépek súlya és értéke ezt meghaladja, ezért célszerűen csak a robbantási napon kell használatba adni.

A robbantógépek kapcsolói, illetve hajtókarjai kivehetőek a robbantógépen kiképzett kulsházból, illetve hajtókar csatlakozóból, melyet a robbantómesternek elzárva, vagy zsebben kell tartani mindaddig, míg a töltés, a kötözés, a robbantó hálózat fővezetékre való csatlakozása és a robbantógéphez meg nem történt, és a robbantással veszélyeztetett területet is le nem zárták. A robbantógépet működtető kulcsot csak ezután szabad használni. Ezek a kulcs illetve hajtókar házak speciális kiképzésűek, így csak a géphez gyártott kulcsot,

vagy hajtókart képesek befogadni, és csak ezekkel a kulcsokkal és hajtókarokkal működtethetők a robbantógépek.

6.6.1.1. Szárazelemekkel feltölthető gépek

Ezek a gépek a villamos energiát szárazelemekből nyerik, így kezelésük egyszerű kapcsolóval oldható meg. A szárazelemek egyenfeszültségét ha a robbantógépet kapcsolóját „töltés” helyzetbe kapcsoljuk, egy elektro-nikus kör váltóárammá alakítja, melyet egy további feszültség sokszorozó kör nagyfeszültséggé transzformál. Ez a nagyfeszültség jut a robbantógép indító kapacitására. A kondenzátor feltöltöttségét nagy gépek esetén egy műszer mutatja, kisebb gépek esetén egy parázsfény izzó, vagy egy LED izzó felizzása utal arra, hogy a kondenzátor a csúcsfeszültségre feltöltődött. Ekkor lehet elvégezni a robbantást a kapcsoló „robbantás” helyzetbe kapcsolásával.

Ezekben a gépekben az elemeket, vagy a robbantógép megfelelő működését gyakran kell ellenőrizni és az elemeket nem megfelelő működés esetén ki kell cserélni.

A több tíz éve működőképes NTR gépek kondenzátorai fémezett papír kondenzátorok, melyek egyenkénti kapacitása aránylag kicsi, ezért több kondenzátort kell a robbantógépben alkalmazni. Ezeknek a kondenzátoroknak a belső ellenállása nagyon nagy, így a robbantókör indítása után, ha nem sül ki teljesen a kondenzátor veszélyesen nagy feszültség is visszamaradhat. A kapcsolót kikapcsolt állapotba hozva ez a maradék feszültség kisül.

6.6.1.2. Dinamó elektromos gépek

A töltőfeszültséget egy kézzel forgatható dinamóval hozzák létre ezeknél a típusoknál. A régebbi gépeknél a hajtókar forgatásával ha elérték a robbantógép csúcsfeszültségét, akkor a gép a feltöltött kondenzátor elektromos energiáját automatikusan a robbantó hálózatra kapcsolta. Egyes gépeknél egy rúgót kell felhúzni egy kilincszárig, melyet egy mechanikus kapcsolóval ki lehet oldani. Ekkor a rúgó hajtja meg a dinamót és szolgáltatja szinte azonnal a robbantókör gyújtására szolgáló energiát.

Nagyobb gépek esetén a hajtókarral meghajtott dinamóval és a hozzácsatolt elektromos körökkel hozzák létre a kondenzátoron a feszültséget, melyet egy további mechanikus kapcsolóval lehet a robbantókörre juttatni. Ezeknél a gépeknél a kondenzátor töltöttségét az által lehet érzékelni, hogy a kart milyen erővel lehet forgatni. Ha a gép feltöltődött a kar forgatása szinte semmilyen erő nem igényel.

Az egyes gépeknél a súly és a terjedelem csökkentése miatt fémezett papír kondenzátorok helyett elektrolit kondenzátorokat építenek a robbantógépbe, melyek lényegesen kisebb terjedelműek, mint a fémezett papír kondenzátorok. Hátrányuk viszont, hogy belső ellenállásuk lényegesen nagyobb, ezért, ha várni kell valamilyen ok miatt a robbantógép működtetésével, a forgatókar lassú

forгатásával a veszteségeket folyamatosan pótolni kell, és csak közvetlenül a robbantás elvégzése előtt szabad a töltést abbahagyni.

6.6.2. Nonel zsinórok indítását szolgáló gépek

Ezek a gépek olyan csappantyúk, melyek képesek a nonel zsinórban lévő kismennyiségű robbantóanyagot a működtetéskor keltett szikrával robbanásra készíteni. Ennek megfelelően a robbantógép olyan kicsi, hogy az a robbantómester zsebében elfér, és ilyen módon biztosítható, hogy ahhoz idegenek ne férhessenek hozzá. A robbantógép egyszerűen mechanikus úton való felhúzás után kézzel működtethető.

6.6.3. Elektronikus gyutacsok indítását szolgáló robbantógép

A robbantógép egy loggerből és magából a gépből áll. A letöltött gyutacsok időzítését a robbantás helyszínén a loggerrel állítják be a kívánt értékre. A beállított értékeket a loggerről a számítógéppel támogatott robbantógépbe viszik. Az így tárolt adatokkal a számítógép egyenként ellenőrzi a párhuzamosan kötött gyutacsok beállítását. Hiba esetén az ellenőrzés a hiba helyén megáll, és mindaddig nem lép tovább, míg a hibát ki nem javították. Ha a kör hibátlan, akkor a gyutacsok kondenzátorait a gép feltölti és egy meghatározott jelsorozattal a gyutacsok belső órajelét indítja, melynek kapujele csak a beállított időzítésnek megfelelő értéknél nyitja a kondenzátor feszültségét és indítja a gyújtószálat. A többszörös helyszíni ellenőrzés miatt az állva maradás, vagy a nem kívánt indítás szinte teljesen kizárt.

6.7. Robbantógép ellenőrző műszer

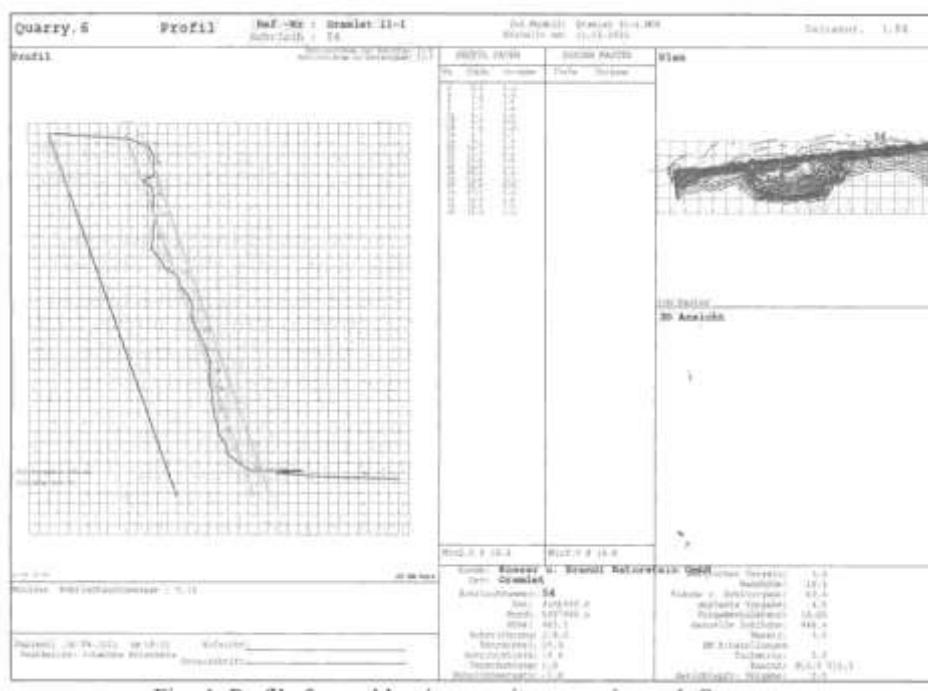
Minden robbantógép típushoz a gép névleges teljesítményétől függően robbantógép ellenőrző műszer rendelhető. Ez egy egyszerű passzív áramkört tartalmazó dobozka, mely a robbantógépre csatlakoztatható általában olyan kábelekkel, melyeknek az elrendezése csak a megadott típushoz alkalmazható. A robbantógépet működtetve a készüléken egy LED tranzisztort, vagy egy parázsfény izzó villan fel, ha a robbantógép a gyár által garantált teljesítmény le tudja adni, azaz hibátlanul működik.

A robbantógép ellenőrzését célszerű a használat gyakoriságától is függővé tenni, de ha nem használják a robbantógépet gyakran, akkor is célszerű legalább havonta elvégezni az ellenőrzést.

Ha a műszer hibát jelez, vagy nem képes a megfelelő teljesítményt leadni, és ez a hiba elemcserével sem javítható, a gépet szakszervízbe kell javításra adni, és újra vizsgálatni kell. Ezt javítás után a szerviz általában kérés nélkül is elvégzi.

6.8. Szelvényező készülék

Ez a számítógéppel támogatott eszköz a kőbányai nagyrobbantások tervezésének eszköze. Addig, amíg a hagyományos teodolit segítségével történő szelvényezés időtartama esetenként a két napot is meghaladta, addig egy laser sugárral működő automatikus szkennelő berendezéssel egy kb. 100 m hosszú bányafal bemérése még egy óra időtartamot sem vesz igénybe. A bányafal felmérésével regisztrált adatokat számítógépre lehet vinni, melynek programja adja a robbantólyuk telepítéséhez szükséges információkat. Ilyen falbemérés után felvett adatok monitoron megjelenő képét a 6.1. ábrán lehet látni. Az így kapott információk kellő



6.1. ábra

Egy automatikus szelvényezővel felvett adatsor megjelenítése

számú adatot adnak a robbantólyukak kitűzéséhez, és a fűrészi-robbantási terv elkészítéséhez.

6.9. Mélybányászati és alagút építési robbantólyukak számítógépes programmal támogatott fűrése

Nagy szelvényű vágatok és alagutak robbantási munkáinak gyorsítására és könnyítésére már az 1970-es években megjelentek azok a fűrógépek, melyekben a lyuktelepítés a közet szilárdságának ismeretében számítógépes program segítségével a fűrógépre vihető. Az ilyen fűrógépek a programnak megfelelően automatikusan fűrnek a kezdeti, illetve alap beállítások elvégzése után akár egyszerre három lafettával is.

A 3.3. ábra szerinti fűrészi elrendezés is például megoldható. A sorozatban azonos elrendezésben készült robbantólyukakkal a robbantási munkák is azonos

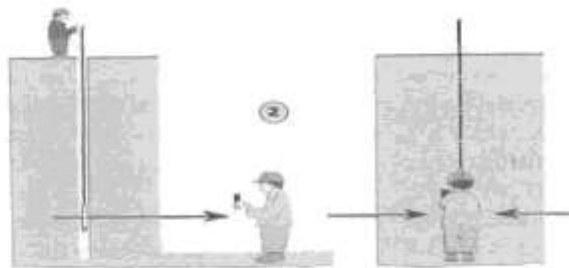
feltételek mellett lettek elvégezhetőek, ezért gyorsíthatók lettek azok is, azaz a vágat, vagy alagút építési munkák is gyorsíthatókká váltak.

6.10. A fúrat ellenőrzés műszerei

A magas falú kőbányákban a fúratok dőlésszögének meghatározása elsőrendű biztonsági kérdés, ugyanis 30-35 m falmagasságok esetén $1-2^0$ eltérés a dőlésszögben a talpon 1-2 m előtétcsökkenéshez is vezethet. A fúratok dőlésszögének pontatlanságát a kőzetek rétegzettsége is befolyásolhatja azzal, hogy a kőzetfelülethez ferdén érkező fúrófejet és fúrószárat a felület „megvezeti”, és így a fúrat akár $0,5-1^0$ -os eltérést is elszenvedhet a beállított értékhez képest. A nagy teljesítményű hidraulikus gépek elterjedésével ez az effektus még nagyobb mértékben előadódhat a fúrószáron és a fúrófejen lévő nagy nyomás miatt.

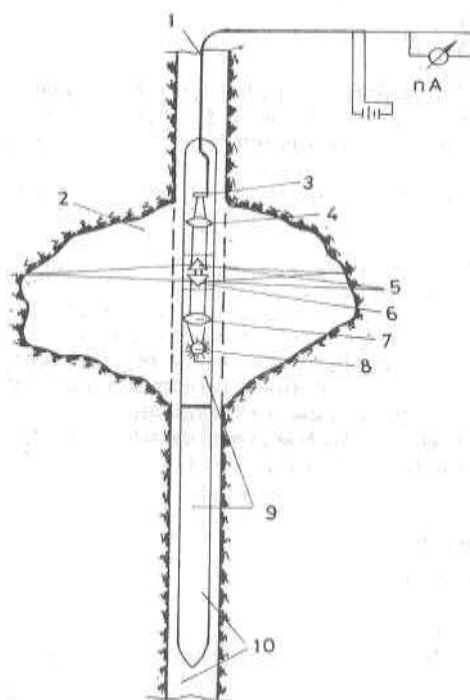
A dőlésszög meghatározásának legegyszerűbb módja ha az elkészített fúrat falához egy 1,5-2 m hosszú rudat, például egy töltőpálcát szorítunk és ennek felső lyukból kiálló végéhez egy olyan szögmérőt szorítunk, melyet a fúrógépek fúrásszögének beállítására használnak.

Az előbb leírt egyszerű módszernél teljesebb felmérés lehetséges egy olyan lyukszondával, melyet a lyuk teljes hosszába le lehet engedni, melynek végén egy optikai berendezés mutatja ki a lyuk elferdülését. Még nagyobb biztonságot ad az a műszer, melynek végén egy adó olyan elektronikus jelet ad, melyet a bányaudvaron elhelyezett érzékelővel regisztrálni lehet, azaz meghatározni a lyuk talpának koordinátáit a bányára felvett koordináta rendszerre vonatkozóan. Ha ezeket az adatokat a falbemérésre felvett programba beviszik meghatározható a robbantási tervtől való eltérés, és ha szükséges, például a nagyon lecsökkent előtét miatt felmerülő veszélyes mértékű közetszórás lehetősége, óvatossági intézkedéseket lehet fogantatosítani. Ezek a szondák igény esetén már megvehetőek a falbemérést szolgáló berendezéssel és számítógép programmal együtt. A mérési elrendezés a 6.2. ábrán látható.



6.2. ábra
A lyuk talpának meghatározása

Kavernák és kisebb üregek feltárására a Bányászati Kutató Intézetben fejlesztettek ki egy optikai elven működő szondát, melynek rajza a 6.3. ábrán látható. A műszer egyetlen példányban készült el és kereskedelembe nem került.



6.3. ábra

Kavernák felderítésére készült lyukszonda

1. vezeték az áramforráshoz és a műszerhez, 2. a vizsgálni kívánt üreg, 3. foto dióda, 4. a visszavert fényt fókuszáló lencse, 5. és 6. a lyuk átmérőjéhez állítható fényterelő kúpok, 7. a fényforrás fényét fókuszáló lencse, 8. a fényforrás, 9. a szonda hengeres teste, 10. a szonda elhelyezkedése az üregben

6.11. A robbantómesteri könyvecske és igazolvány

A robbantómester által a robbantási munkákhoz felhasználásra kerülő és felhasznált robbanóanyagot a robbantómesteri könyvecskében kell fel-tüntetni. Ebbe bejegyzésre jogosult a robbanóanyag raktár kezelője és a robbantómester. A bejegyzéseknek utólag ellenőrizhetőeknek kell lenni, ezért a téves bejegyzésnek is olvashatónak kell lenni, tehát egyetlen vonallal szabad csak áthúzni.

A robbantási munkák egyes részmunkáit csak robbantómester végezhet. Robbantómester az lehet, aki a bányahatóság által meghatározott időtartamú oktatáson részt vett, és vizsgabizottság előtt az elsajátított ismeretekről eredményes vizsgát tett. A vizsga alapján a bányahatóság a robbantómestert nyilvántartásba veszi, és robbantómesteri igazolványt állít ki. A robbantómesteri igazolvány az egyetlen dokumentum, mellyel a robbantómester a robbantási munkákra való jogosultságát igazolni tudja. A robbantómesteri megbízást a bánya műszaki vezetője adja ki a robbantómesteri igazolvány alapján. A robbantómesteri ismereteket a bányahatóság által is elismert tanfolyamon fel kell újítani, melynek elvégzését a bányahatóság a robbantómesteri igazolványba való bejegyzéssel igazolja. Ez alapján a bányabeli robbantási munkákra való megbízás megújítható.

6.12. Egyéb segédeszközök

Ezeket az eszközöket a robbantómesterek találékonysága határozza meg. Ilyen eszköz a kavernák túltöltését megakadályozó csőtöltet elkészítését szolgáló cső, vagy hosszú műanyag fólia. Fontos segédeszköz lehet a gyutacsok kötési helyére húzható műanyag hüvely különösen nedves munkahelyeken. Vizes, nedves munkahelyek elengedhetetlen kelléke a szigetelő szalag, melyet ajánlatos a robbantó fővezetésekre való csatlakozásnál használni. Omladékos lyukak töltésének hasznos eszköze lehet egy a lyukba mélyen behelyezhető tölcser.

Ha a bánya figyeli a működési költségeit, akkor a robbantási költségek meghatározásához célszerű megfelelő adminisztrációs munkát is elvégezni. Ezeken az űrlapokon fel kell tüntetni minden költséget jelentő eseményt, így például azt, hogy a fűrógépet hányszor és mennyi diesel olajjal tankolták, a robbantott kőzet hány batárt tartalmazott és ehhez hány gyutacsot és mennyi robbanóanyagot használtak. Az összes űrlapnak tehát arra kell választ adni, hogy a megfigyelt robbantásból milyen költséggel került le a törőről a kőzet. Ez a megfigyelés különösen akkor hasznos, ha a bánya robbantási technológiájának fejlesztésére szánja el magát, vagy erre valamilyen ok rákényszeríti.

7. A robbantási munka előkészítése, elvégzése és befejezése

Amint az az eddig leírtakból következik robbantást végezni csak akkor és ott szabad ahol a robbantási hely és a körülmények alapos ismeretével rendelkezik a robbantást előkészítő és kivitelező robbantás vezető és robbantó mester. Ez az előfeltétele annak, hogy a robbantási munka tényleges előkészítése, kivitelezése és sikeres befejezése megtörténhessen.

7.1. Előkészületek a robbantás előtt

A robbantást előkészítő munkák nagysága és időtartama függ a tervezett robbantás nagyságától. Kőbányai nagyrobbantások, vagy nagyobb fejtésekben történő robbantásokkor ez az előkészítő munka egy napot is igénybe vehet, így ekkor a robbantás előtti napon kell ezt elvégezni. Ekkor a robbantómester feladata a robbantáshoz szükséges gyutacsok kivételezése és Ohm mérővel történő ellenőrzése. Az ellenőrzéskor meg kell határozni, hogy a gyutacsok ellenállása a gyártó által garantált intervallumba esnek-e, és erről legalább olyan tartalmú feljegyzést kell készíteni, hogy a felhasználásra kerülő gyutacsok az előírt értéknek megfelelnek. A nem megfelelőnek talált gyutacsok számát, és a hiba indokát a raktárossal kell azonnal közölni, aki köteles a nem megfelelő gyutacsok megsemmisítéséről gondoskodni, illetve azt előkészítésre a robbantásvezetőnek jelenteni. Az ellenőrzést követően az ellenőrzött gyutacsokat a raktár erre kijelölt helyén kell tárolni úgy, hogy ahhoz már csak a robbantásvezető által kijelölt vezető robbantómester férhessen hozzá. Általános szokásnak tekinthető, hogy több robbantómester esetén a robbantásvezető egy robbantómestert vezető robbantómesterként jelöl meg, aki a robbantás előkészítését figyelemmel kíséri, és a későbbiek során a robbantás

kivitelezésénél is utasíthatja a robbantás résztvevőit a robbantási munkánál arra, hogy milyen feladatot végezzen el, így például ő jelölheti ki a gyutacs ellenőrzésére a robbantómestert. A Bányászati Kutató Intézetben ez a gyakorlatban úgy működött, hogy a vezető robbantómester vételezte a robbantáshoz szükséges robbantóanyagot, tehát a felhasználásra kerülő robbantóanyag az ő robbantómesteri könyvecskéjébe került, az ellenőrzött gyutacsok ládájának lakatkulcsa ugyanígy az ő zsebébe került.

Természetesen a vezető robbantómester feladata lett az is, hogy kijelölje kinek a feladata a robbantási segédeszközök előkészítése és ellenőrzése. Ezek közül a feladatok közül a robbantógép működőképességének ellenőrzését azonban a vezető robbantómester nem szokta átadni, hanem azt maga végzi el, ugyanígy a maga ellenőrzi az Ohm mérő és a robbantó fővezeték állapotát is, és ha ezekben hibát talál azt a robbantásvezető segítségével, vagy saját hatáskörén belül pótolja, illetve kiküszöböli.

Nem volt szokás, hogy a közvetlenül a robbantási feladatokhoz nem kapcsolódó munkákat a vezető robbantómesterre bízzák. Ilyen feladat lehet a robbantással közvetlen érintett lakosság értesítése bejárással, vagy más információs lehetőséggel. Erről a robbantásvezetőnek kell gondoskodni. Ugyanilyen feladat a robbantással kapcsolatos védelmi intézkedések fogantatosítása, például a védőtakarás megrendelése, vagy elkészítése, valamint az esetleges adminisztrációs munkák elvégzésének megszervezése.

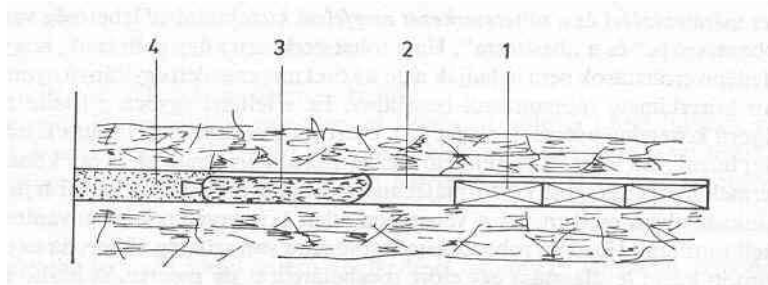
7.2. A robbantási munkák feladatai vágathajtásnál és alagút építésnél

Ezeket a robbantási munkákat többnyire RTE által szabályozott módon végzik, és így a robbantási módok, a robbantólyukak telepítése és azok időzítése is megegyeznek, nem szükséges a robbantási terület előzetes alapos felmérése. Ennek megfelelően a szükséges robbantóanyag vételezése mintegy rutin művelet. Ugyanígy rutin művelet kell, hogy legyen, hogy ha nagy felület robbantása esetén a gépi töltést alkalmazzanak, a töltőgép kifogástalan működésének ellenőrzése, valamint a felső lyukak töltéséhez az állvány felépítésének, vagy valamilyen emelő berendezésnek (pl homlokrakodó kanala) biztosítása. A robbantómester feladata ekkor a robbantóanyag és a segédberendezések robbantási helyre szállítása, mely műveletnél eleget kell tenni az ÁRBSz (Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat) robbantóanyag szállítására vonatkozó előírásainak. A robbantási munkák előkészítéseként a segédszemélyzetet feladataira ki kell oktatni, ha azok a korábbi munkák során ezeket a feladatokat már nem sajátították el teljességgel, és nem lehet arra számítani, hogy a megszokás miatt hibázhatnak. A robbantómester feladata ekkor az indító töltetek elkészítése, és annak ellenőrzése, hogy azt az RTE szerint a segédszemélyzet a megfelelő lyukba helyezze. Ehhez az szükséges, hogy az indító töltet befogadására a segédszemélyzet a robbantólyukban a töltőpálcát „megjárassa”, részint azért, hogy a még ott maradt fúrólisztet amennyire csak lehet eltávolítsa, másrészt pedig azért, hogy a robbantómesternek mutassa, hogy melyik lyukba szándékozik az indító töltetet elhelyezni, így a robbantómester a helyesen időzített töltetet nyújtsa át. Az indító

töltetek elhelyezése előtt egyes technológiáknál kívánatos párnatöltet elhelyezése is, mely megelőzi a gyutaccsal ellátott indítótöltetet, így a gyutacs sérülés ellen jobban védhető.

Ha a főtöltet gyutaccsal nem indítható robbanóanyag, akkor az RTE szerint a gyutaccsal szerelt töltény után még annyi gyutaccsal indítható töltényt kell elhelyezni, hogy a főtöltet maradéktalan robbanása biztosítható legyen. Ez ANDO robbanóanyag esetén általában az ANDO mennyiségének tíz százaléka. Ha ezeket a tölteteket is elhelyezték, akkor lehet a főtöltetet is elhelyezni, gépi töltés esetén a töltőgépet működtetni. Ennek töltőcsövén, vagy nem gépi töltés esetén a töltőpálcán célszerű jól láthatóan a fojtás hosszát megjelölni, és a töltésnél ezt a határt nem túllépni.

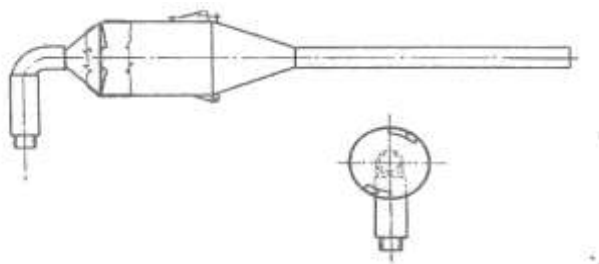
A főtöltet elhelyezése után következhet a fojtás művelete, mely lehet vízfojtás, agyag-, vagy homok fojtás. A vízfojtás előnye, hogy a vízzel csővel ellátott szakaszon is jó aprózódás érhető el, mivel a víz szinte csillapítás nélkül átveszi a detonációs hullám nyomást. A vízfojtás elhelyezését a 7.1. ábrán lehet tanulmányozni.



7.1. ábra
A vízfojtás

1. robbanóanyag, 2. légűr, mely elhagyható, 3. vízpatron, 4. homok, vagy agyag fojtás

nyozni. Az agyagfojtás a viszonylag nagy víztartalom miatt és plasztikussága miatt a lyukat jól kitöltve hatásos, ezért a felső végét erősen tömöríteni kell. Így a robbantólyuk jól lezárható. Homokfojtás esetén az erős tömörítés ugyancsak kívánatos, mely legjobban a sűrített levegővel működtetett Kóta-féle homok puskával érhető el (7.2. ábra). A fojtásnak szánt földnedves homokot a puska csőréből lenyitható hengeres tartályba kell tölteni. Ehhez lehet a sűrített levegő



7.2. ábra
A Kóta-féle homokpuska vázlatos rajza

csövét csatlakoztatni és az ezen elhelyezett csap nyitásával a homokot a töltött robbantólyukba juttatni.

A fojtás befejezésével lehet hozzákezdeni a kötözéshez. Alapelv, hogy az ellenőrzés megkönnyítéséhez ennek áttekinthetőnek kell lenni, ezért a gyutacsvezetékek összekötésénél a színt a színnel gyakorlatot célszerű követni. Kisebb fogásmélység és kisebb átmérőjű vágatok esetén a lelógó vezetékek áttekinthetetlenek, ezért gyakran a már összekötött vezetékpárokat egy gombolyagba felcsévélik, így időt spórolnak meg. Helyesebb azonban a vezetékeket rövidre vágva kötözni, ami az eredő ellenállás csökkenését, és a biztonságosabb indítást eredményezi. Nagy robbantási felületeknél, amikor is a gyutacsok száma nagy ez a kötözési mód elengedhetetlen. Vizes környezetben ugyancsak elengedhetetlen a kötési helyek szigetelése, amelynek legegyszerűbb módja a kötési helyekre húzott szigetelő hüvely (népszerű nevén: tyúkbél), melyet meghajlítunk középpen a 7.3. ábra szerint. Különösen nedves, csepegő



7.3. ábra

A szigetelő hüvely elhelyezése a kötési helyen

vizes helyeken a műanyag hüvely zsírral is feltölthető, mely még nagyobb szigetelést biztosít.

A kötözés befejezése után a robbantómester feladata a munkahely ellenőrzés, és ha ekkor is mindent rendben talál, akkor rendeli el az őrség kiküldését. Ha úgy ítéli meg, hogy az őrség a feladatát teljesíteni fogja, ráköti a kiépített hálózatot a fővezetékre és ekkor hagyja el utolsóként a robbantási helyet. Ezt követően a robbantóállomáson a robbantó fővezeték csatlakoztatja a robbantógéphez. Ekkor kell meggyőződni arról, hogy a robbantás káros hatásának kitett terület lezárása megtörtént-e. Ha igen, akkor veheti elő a robbantógép eddig elzárva tartott indító kulcsát, vagy meghajtó karját, és miután azt a robbantógép megfelelő nyílásába helyezte elkezdheti a robbantógép feltöltését, és ha az is kész, akkor hangos kiáltással le kell adni a „vigyázz robbantás” jelzést, és működtetni kell a robbantógépet. Ezt követően a füstre várasi időig a robbantási helyre tilos bárkinek is bemenni. Ha a füstre várasi idő is letelt, akkor elsőként a robbantómesternek kell a robbantási helyet megtekinteni, és csak akkor lehet a robbantást befejezettnek nyilvánítani, a biztonsági távolságban lévő terület lezárását feloldani, és a további munkavégzést engedélyezni, ha a robbantás következtében az összes töltet megfelelően és teljes mértékben felrobbant, robbantóanyag maradványok nem találhatók.

Ha a robbantás annak ellenére nem sikerült, hogy a robbantógépet működtette a robbantómester, akkor a terület lezárása mellett a robbantógépről a fővezeték csatlakozását le kell kötni, ki kell venni és ismét elzárni a robbantógépet működtető kulcsot, vagy hajtókart, és meg kell keresni a hibát, mely lehet rossz kötés, vagy gyutacs hiba. Ha a hibát sikerül elhárítani meg kell kísérelni a

robbantást. Az ilyen esetekben a sikeresnek ítélt robbantás után fokozott ellenőrzést kell végrehajtani, mert nagy az esély arra, hogy részleges megállás jöhet létre, ezért a robbantott készletben robbantóanyag maradvány lehet. Ezt össze kell gyűjteni és csak ezután engedélyezhető a munka folytatása. Az ilyen robbantóanyag maradványt külön megjelölve megsemmisítési célra kell a robbantóanyag raktárba visszaszállítani.

A sikeres robbantás után a még fel nem használt robbantóanyagot a robbantóanyag raktárba kell visszaszállítani, a raktárkönyvbe ennek mennyiségét visszavételezés megjelöléssel leadni, és ugyanígy a robbantómesteri könyvecskéből is ki kell vezetni. A robbantómester feladata akkor fejeződik be, ha a robbantógépet, Ohmmérőt és egyéb nem személyi felszerelését a kijelölt raktárrészbe használható állapotban visszaadta.

7.3. Egyéb jövesztő robbantások a mélybányászatban

A vágathajtástól eltérő robbantásokat az RTE általában nem határozza meg precízen, ezért ezeket a robbantásokat rutinszerűen már nem lehet elvégezni. A robbantás előkészítése a már lefűrt robbantólyukak hosszának és mennyiségének számbavételével kell, hogy kezdődjön. Ez alapján kell amennyire csak lehet megbecsülni a szükséges robbantóanyag mennyiségét. Néhány robbantási feladat esetén ez nem túlzottan nagy feladat, így viszonylag egyszerűen lehet eljárni például a frontfejtések széleinél elvégzendő kisegítő robbantásnál, vagy talpszedésnél, ha az szükséges. Nagyobb jövesztő robbantásoknál, mint például az 5.7. ábra szerinti robbantásnál az előkészítést célszerűen a robbantáshoz szükséges gyutacsok ellenőrzésével, és a robbantóanyag raktárban való elhelyezésével célszerű már a robbantást megelőző napon kezdeni. Ehhez tartozik a töltőgép ellenőrzése, és a fojtás előkészítése. A felfelé irányuló robbantólyukak töltése általában problémásabb, mint a vízszintes lyukak töltése, ezért ezeknek a lyukaknak a töltéséhez célszerűen olyan indító töltetet és robbantóanyagot kell választani, melyek néhány percig, a fojtás elhelyezéséig a függőleges irányú lyukakban is megállnak. Tapasztalat szerint ilyen indító töltetet lehet az olyan töltet, melyet az 5.8. ábra szerint olyan központosítóval látnak el, melynek karmai elég erősek ahhoz, hogy a robbantólyuk falán megkapaszkodjanak. A fő töltet általában ekkor ANDO, vagy havv ANFO, melyek géppel tölthetők és a sűrített levegős töltés miatt olyan kemények lesznek a robbantólyukban, hogy onnan azonnal kiperegni, vagy kifolyni nem tudnak. Ezeket a lyukakat a töltést követően, és a kis mértékű kihullás után célszerű azonnal fojtani. A fojtás anyagának természetesen olyannak kell lenni, mely a robbantólyuk falán annyira megtapad, hogy a töltet kicsúszását, vagy kihullását is megakadályozza. Ilyen fojtásanyag a plasztikus agyag, vagy a durvaszemcsés anyagot is tartalmazó földnedves homok a Kóta-féle homokpuskával belőve.

A töltési munkálatok befejezésével a vágathajtásnál már ismertetett kötözés következik, melynél célszerű az ellenállás csökkentése miatt a vezetékek lehetséges legnagyobb mértékű rövidítése. A kötözés befejezésével a robbantómester ellenőrzést követően utoljára hagyja el ekkor is a robbantási helyet. A terület lezárása után már a robbantóállomásig kihúzott robbantó

fővezetékre kell csatlakoztatni az Ohm mérőt, és ha az ellenállás megfelelő akkor a robbantógépet. Ekkor kell elhangzani a „vigyázz robbantás” kiáltásnak, és el kell végezni a robbantást. A füstre várási idő után ismét a robbantómester (vezető robbantómester) megy a robbantás eredményének megtekintésére a robbantás helyére, és ha mindent rendben talál csak akkor adja ki a terület lezárását feloldó parancsot. Rendellenesség esetén, például megállt töltetet észlelve a vágathajtási munkáknál már leírt feladatokat kell elvégezni mindaddig, amíg a terület a további munkákra át nem adható.

7.4. Nagyrobbantások külszíni bányákban

A robbantásra kitűzött front geodéziai felmérése, a fúratok kijelölése és a fúrás megkezdése után figyelemmel kell kísérni a fúrás haladását, és meg kell becsülni azt az időt, amíg a fúrás elkészül. Mivel a fúratok állapota romlik idővel célszerű a robbantást minél hamarabb elvégezni, és már a fúrás vége felé előkészíteni olyan eszközöket és anyagokat, amelyekre a robbantásnál szükség lesz. Ha a robbanóanyag nem áll rendelkezésre azt meg kell rendelni, ami különösen akkor feltétel, ha a robbanóanyagot töltő kocsiról kívánják letölteni, de ugyanez vonatkozik arra az esetre is, ha a bánya raktárában csak kis mennyiségeket tárolnak, például az indító töltetekhez szükséges robbanóanyagot.

A robbanóanyag megrendelése és a robbantási nap kitűzése után a megállapított robbantási nap előtti napon kell előkészíteni mindazokat az anyagokat és eszközöket, melyre a robbantásnál szükség lesz. Így el kell végezni a robbantáshoz szükséges gyutacsok ohmikus ellenőrzését és azt a raktárban megjelölve félre kell tenni. Nonel gyutaccsal történő indítás esetén elő kell készíteni az időzített gyutacsokat, és ha felületi időzítés történik, akkor az időzítő betéteket. Elektronikus időzítés esetén az előkészítés egyszerűbb, hiszen csak a megfelelő számú gyutacsot és kötőelemet kell előkészíteni, hiszen az időzítés a töltés után a helysínen történik meg. Ugyancsak ekkor kell ellenőrizni a robbantógépet, és esetleg végrehajtani az elemcserét. Ugyanígy elő kell készíteni az Ohm mérőt is.

A fúrási adatlapok alapján el kell dönteni, hogy vannak-e olyan lyukak, amelyek ellenőrzésre szorulnak, és ezek ellenőrzését el kell végezni (dőlésszög, elferdülés, kaverna gyanúja, omlás, nagy beágyazás, vizes lyuk, stb.). Ha ezek állapota javítható, akkor azt el kell végezni, ha nem akkor a töltési adatlapon meg kell jelölni a várhatóan szükséges beavatkozást (csőtöltet szüksége, vízálló indító töltet, töltetmegszakítás és még egy töltet elhelyezése, és ennek megfelelően a szükséges és előkészített gyutacsmennyiséget is korrigálni kell, stb.). A megfigyelések alapján a szokványos eszközökön kívül (kapa és lapát a fúróliszt eltávolításához és a fojtáshoz, kb. 2 m-es töltőpálca a fojtáshoz, adatlapok) elő kell készíteni azokat az eszközöket is, amelyek a lyukak állapota miatt pluszként jelentkeznek (főliazsák a vizes lyukakhoz, cső a kaverna áthidaláshoz, homok a közbenső fojtáshoz, szigetelő csövecskék, stb.). Ugyancsak ekkor kell gondosodni a robbantási segéderők tájékoztatásáról is: feladataik és munkavégzésükkel kapcsolatos biztonsági előírások ismertetése.

A robbantási napon a munkakezdekör ki kell szállítani az előkészített robbantóanyagokat és a töltéshez szükséges segédeszközöket. Ha a főtöltet töltőkocsival érkezik, és a töltést is onnan végzik, akkor lehetőleg még a töltőkocsi megérkezése előtt el kell helyezni az indító tölteteket, vagy legalább hozzá kell kezdeni, hogy a töltőkocsi folyamatosan működtethető legyen.

Ömlesztett robbanóanyag (zsákos ANDO) vagy haevy ANFO, töltényezett emulziós robbanóanyag, szállítmány esetén a robbanó-anyagot célszerű azonnal a robbantólyukak mellé rakni olyan mennyiségben, amennyi előre láthatóan a robbantólyuk töltéséhez szükséges. Ugyanígy az időzítéshez szükséges gyutacsokat is így kell kirakni. Ilyen esetben a töltést, az indító töltet elhelyezésével egy robbantómester párnak azonnal célszerű elkezdni amint a gyutacsok kihelyezése megtörtént, és a robbanóanya széthordását a segédszemélyzetre bízni lehetőség szerint felügyelet mellett. A már indító töltettel ellátott lyukak töltését azonnal a segédszemélyzetre lehet bízni, azonban célszerű ekkor is egy robbantómester felügyelete elsősorban azért, hogy a megfelelő hosszúságú fojtás készüljön, tehát a robbanóanyag oszlop emelkedését figyelemmel kísérjék, és ha szükséges még időben közbe lehessen avatkozni, például azért, mert nem emelkedik megfelelően a töltet oszlop magassága, tehát például eddig nem észlelt kavernát harántolt, vagy érintett a robbantólyuk.

Aláfúrás esetén természetesen gondoskodni kell ömlesztett robbanóanyag esetén a töltőberendezés működéséhez szükséges kompresszorról, vagy ha a töltést nem töltőberendezéssel végzik, akkor a megfelelő hosszúságú töltő botról mely általában 2 méteres darabokból összezsavarhatóak. A töltéshez itt is legalább egy robbantómestert kell biztosítani és annyi segéderőt, ahányan a hosszú töltőpálcat kezelni tudják. A töltés itt is akkor fejeződött be, ha a fojtáshossz maradt töltetlen a lyukból. A segédszemélyzetre kell bízni a fojtás elhelyezését, mely általában fóliazacskóba csomagolt durvaszemcsés homok, vagy fúróliszt. Az első fojtáscsomagot csak megnyomni szabad, az utána következőket viszont erősen tömöríteni kell

Ha a függőleges lyukak töltése is befejeződött, tehát a töltet fölött már csak a fojtáshossznak megfelelő rész maradt vissza, el kell helyezni a fojtást. Ez általában fúróliszt. A fojtást lapáttal beszórva lehet elhelyezni és a közvetlen fojtás fölötti részt (kb. 1 m-es szakasz) nem szabad tömöríteni, az ezt követő részt pedig kell, lehetőleg alaposan. Ehhez szolgál a lyuk átmérőjéhez igazodó átmérőjű kb. 2 m hosszú töltő pálca. Ez a művelet is a segédszemélyzet feladata.

Amint az utolsó robbantólyuk töltése és fojtása megtörtént, a maradék robbantóanyagot szállítóeszközre kell rakni és a robbantóanyag raktárba szállítani és olyan módon elhelyezni, hogy a vezető robbantómester a robbantás végén a maradék robbantóanyaggal egyértelműen el tudjon számolni, azaz a maradék robbantóanyagot a raktáros vissza tudja vételezni. Ugyanígy lehetőleg minél előbb el kell szállítani a feleslegessé vált segédanyagokat is, tehát a robbantási terület tiszta és áttekinthető legyen a kötözéshez.

7.4.1. Kötözés villamos gyutacsokkal

Villamos gyutacsok kötözése esetén elengedhetetlen a gyutacsvezetékek rövidítése olyan mértékben, hogy a szomszédos lyukakból kiálló vezetékek még ne feszüljenek meg, de a kötési hely egy csavarásával hurok képzése lehetővé váljon, aminek következtében a kötési hely a levegőbe kerül, és nem lóg le a közetre. Ez különösen fontos, ha eső, vagy hóolvadás miatt a robbantási terület erősen nedves. Ha a hurkolás után sem marad a levegőben a kötési hely, akkor egy kódarabot a szigetelt rész alá téve lehet eltartani a kötési helyet a talajtól.

Egy soros robbantás esetén a kötözés módja egyértelmű. Két vagy kettőnél is több soros robbantás esetén a kötözést célszerű cikk-cakkban végezni, azaz az első sor gyutacsát a másodikhoz, a másodikat a harmadik sorhoz, és így tovább csatolni, majd ugyanígy visszafelé, mivel így biztosítható, hogy a robbantó fővezetékre történő kötési helyek egymástól a lehető legnagyobb távolságra kerüljenek, ami által a söntölődés veszélye csökkenthető. A kötözés akkor lesz jól áttekinthető, ha „szint a szinnel” kötési elvet követik a robbantomesterek. A kötözés befejezésekor a körnek egy zárt huroknak kell lenni.

A kötözés befejezése után kell az ellenőrzést elvégezni: lehetőleg két robbantomester induljon el egy adott kötési helyről (például az első sor első robbantólyukától) egymástól ellentétes irányban. A kötési helyek körülbelüli felezési pontjánál ekkor találkoznak, innen továbbhaladva egymással szemben kell találkozniuk a kiindulási helyen. Ez az ellenőrzés nyújt még egy olyan lehetőséget is, hogy a kötési helyeket is ellenőrizzék: a kötések eléggé eltartottak-e a talajtól, nem szükséges –e szigetelő hüvely pótlása, stb.

Ha zárt a kör, és minden gyutacs egyértelműen csatlakoztatott egymáshoz, akkor lehet a robbantó állomásról kihúzott fővezetékhez csatolni a hálózatot lehetőleg úgy, hogy a kötési helyek egymástól minél távolabb essenek. Ha ez megtörtént, a robbantó állomáson meg kell mérni a kör ellenállását, és el kell dönteni, hogy a rendelkezésre álló robbantógéppel elvégezhető-e a robbantás, nem kell-e a kört felezni, vagy még több részre osztani. Ha a kör ellenállása a robbantógép teljesítményét meghaladja a felezést el kell végezni, de élszerű ez akkor is, ha a kör ellenállása ezt erősen megközelíti.

Ha ezt a műveletet is végrehajtották, akkor kell leadni az első jelzést, majd a másodikat és elvégezni a töltetek indítását.

7.4.1.1. Tennivalók a robbantás után

Ha a robbantást követően a füst olyan mértékben elszállt, hogy a robbantási hely megközelíthető, akkor a vezető robbantomesternek kell elsőként a robbantási helyet megközelíteni, és meggyőződni a robbantás sikeréről, vagy sikertelenségéről. Rendellenességet tapasztalva azonnal dönteni kell esetleg a robbantásvezető bevonásával, a hibaelhárítás lehetőségéről. Ha megállt szakaszok vagy töltetek vannak, akkor lehetőleg azonnal meg kell kísérelni a megállt töltetek indítását, természetesen a robbantás vége jelzés sem adható le.

Ha a megállt töltetetek nem robbanthatók azonnal fel, vagy nem sem-misíthetők meg azonnal, akkor gondoskodni kell azok őrzéséről, vagy elkerítéséről olyan módon, hogy ahhoz illetéktelenek semmilyen módon ne férhessenek hozzá.

A robbantás vége jelzés csak akkor adható le, ha a robbantási helyen megállt töltet már nincs, vagy ha olyan intézkedések történtek, hogy a megállt töltet indulása nem akaratlagos módon nem következhet be.

7.4.2. Indítás nonel gyutacsokkal

Az indítás három féle módon is törtéhet.

Abban az esetben, ha a nonel gyutacsok időzített gyutacsok és az időzítés a megkívánt, akkor egy vezető szálat kell lefektetni. Ehhez a vezetősálhoz kell a kapcsoló elemekkel a robbantólyukakból kilógó nonelzsinór végeket csatlakoztatni. A vezető szál felrobbantásával az összes gyutacs indul, és a pirotechnikai késleltetésnek megfelelően robbannak a töltetek. A kívánt késleltetési időtől való eltérést ekkor a pirotechnikai időzítő betét égésének hibája szabja meg, mely a késleltetési idő növekedésével nő, ami arra vezethet, hogy a töltetek indulása főleg a hosszabb időkésleltetésű robbantólyukak esetén eltérhet a kívánt értéktől. Ennek eredménye lehet, hogy egyes töltetek indulása közötti időkülönbség lecsökken, vagy megnő. Ez a szeizmikus hullámok kialakulásában bizonytalanságot eredményezhet, azaz a szeizmikus mérések eltérése nagy lehet.

Ha a robbantólyukakban az indítótölteteket pillanathatású gyutacsokkal indítják, akkor a vezető szála lyukközönként a kívánt késleltetési betéteket kell beiktatni. Ekkor az időzítő betétek késleltetésének megfelelően robbannak egymást követően a töltetek. A rövid késleltetések miatt a töltetek indítása viszonylag nagy késleltetési pontossággal következik be, mely előnyös lehet a szeizmikus rezgések tekintetében. Problémát illetve elállást okozhat az, hogy a közetmegbontás és kisebb nagyobb közetdarab elrepülése a töltet felrobbanását követően 100 – 150 ms időtartamon belül várható, így ha a teljes robbantás ezen idő alatt nem zajlik le, akkor egy esetleg elrepülő kódarab a még fel nem robbant nonelzsinórt elszakíthatja, és a robbantás eláll.

Ezen utóbbi veszélyt úgy kívánják általában kivédeni, hogy az indító töltetbe olyan hosszú késleltetési idejű nonel gyutacsot helyeznek, melynek késleltetési ideje alatt a felületi késleltetés lezajlik, a töltetek tehát hosszabb késleltetéssel, de a felületi időzítési különbséggel indulnak. Ebben az esetben viszont szerepet játszhat az a tény, hogy a hosszú késleltetésű gyutacsok hibája elérheti a ± 5 -10 %-ot, mely hiba összemérhető lehet a felületi időzítéssel. Ennek következménye lehet, hogy akár három egymás mellett levő robbantólyuk is egyszerre indulhat. Ez viszont magával hozza, hogy a szeizmikus jelek nagysága megnőhet, illetve az egyes szeizmikus mérések között nagy eltérések lehetnek.

A robbantás elvégzése után annak sikerétől, vagy sikertelenségétől függően természetesen el kell látni az előző fejezetben leírtakat.

7.4.3. Időzítés elektronikus gyutacsokkal

A gyutacsok szerkezete, időzítési módja, működési mechanizmusuk alapján jelenleg a legbiztonságosabb robbantás hozható létre ezekkel a gyutacsokkal. A gyutacsok ára azonban jelenleg még korlátokat szab felhasználásuk tekintetében. Kérdéses azonban, és erre még nincs konkrét vizsgálat, hogy ezen gyutacsokkal végrehajtott robbantás után a törőről lekerülő közet ára nem olcsóbb-e mint a nonel zsinóros, vagy a hagyományos gyutacsokkal elvégzett robbantás után a törőről lekerülő készlet ára. A gyutacsok további előnye a nagy időzítési pontosság: még a 6 000 ms időzítésű gyutacsok esetén is elérhető a $\pm 0,5$ ms pontosság, ami azt jelenti, hogy közetkímélő (elő-, vagy utóhasítás) robbantás esetén a hasító robbantólyukak töltetét elektronikus gyutacsokkal lehet időzíteni (egyidejűleg indítani még nagy késleltetés esetén is), azaz ki lehet küszöbölni a robbanózsinór használatát, tehát csökkenteni lehet nagy mértékben a léglökés nagyságát. Balesetvédelmi és munka-kímélési okok miatt is kívánatos lehet a közetkímélő robbantások elter-jesztése mind külfejtések, mind pedig vágathajtásnál, vagy alagút építésnél (faltisztítás elhagyható, vagy mérsékelhető, omlásveszély csökkenthető, kisebb hátűrkitöltés, stb.).

A töltés befejezése után a gyutacsok időzítése in situ történhet, sőt az erre a célra készített berendezés (login) lehetővé teszi bármilyen időzítési különbség beállítását. A bármilyen időzítési különbség beállíthatósága lehetővé teszi a bánya közetéhez leginkább alkalmas időzítési rendszer megkeresését mintegy öt-tíz kísérleti robbantással. Úgy tűnik, hogy az ilyen célú kísérletek elengedhetetlen kelléke az elektronikus időzítésű gyutacs, sőt ez a hagyományos, pirotechnikai időzítésű gyutacsok fejlesztési irányát is kijelölheti, amennyiben igény mutatkozik a fejlesztési munkák következtében az eddigiektől eltérő pirotechnikai időzítési rendszer kidolgozására.

Az in situ időzítést követően, és a gyutacsok párhuzamos kapcsolása után, a login adatait a speciális elektronikus gyutacsok indítására készített robbantógép memóriájába viszik, mely a robbantókört ezen adatok alapján ellenőrzi. Bármely hiba esetén az ellenőrzés a hibahelyen leáll, tehát a hiba azonnal megtalálható. Amíg a robbantókörben hiba található a robbantás nem végezhető el. Így nem szorul magyarázatra az a tény, hogy a robbantás legbiztonságosabb kivitelezhetőségének tekinthető az ezen gyutacsokkal végzett robbantás. A robbantókör valamilyen okból történő elállása szinte teljességgel kizárt.

A robbantást követően természetesen ekkor is el kell látni a már említett ellenőrzési és utómunkákra vonatkozó feladatokat.

7.5. Batározás, azaz a méreten felüli tömbök robbantása

A külfejtéses robbantásoknál szinte mindig kerül elő a robbantott készletből olyan méretű kötömb, ami nem adható fel a törőre. Ez a méreten felüli tömb, vagy egyszerű szóhasználatnál batár. Ezeket a tömböket leggyakrabban megfűrik általában a batár legnagyobb méretének feléig plusz a felhasználásra kerülő sejtett robbanóanyag töltet hosszának feléig. Ebbe a lyukba kerül a batár

méretétől függő robbanóanyag mennyisége, melyet gyors becsléssel állapít meg a robbantómester. Mennyisége egy köbméterre számítva nagyjából 0,1 kg.

Ha a batárok megfűrése valamilyen ok miatt elmarad, és a batározás kívánatos, rátett töltettel is el lehet végezni a robbantást. Ekkor a rátett töltet nagysága körülbelül 1 kg/m^3 , tehát a robbanóanyag szükséglet mintegy tízszerese a fűrt lyukakkal történő robbantáshoz képest. Mindehhez még azzal is kell számolni, hogy a rátett töltet miatt jelentős a léglökés mértéke, mely korlátozza az egy robbantással felrobbantható batárok számát is. A léglökés mértéke kissé, de nem jelentős mértékben csökkenthető ha a töltetet lefedik valamilyen anyaggal, például homokkal, vagy agyaggal.

A batározásnál a robbantáshoz felhasználható gyutacsok leggyakrabban, szinte minden esetben, a pillanathatású gyutacsok. Mivel a kötömbök általában egymáshoz közel vannak, az időzítés nem megengedett, főleg rátett töltetek esetén, azért, hogy elkerüljék a töltetamputációt, azaz azt, hogy egy előbb robbanó töltet egy később robbanó töltetet a robbantólyukból kirántsa, vagy megsemmisítse.

A batározáshoz szükséges gyutacsokat ugyanúgy mint nagyrobbantásnál célszerű a robbantást megelőző napon előkészíteni az ohmikus ellenállás ellenőrzésével. Mivel a batárok száma 50-100 darab is lehet, a kötözésre a lehető legnagyobb gonddal kell ekkor is ügyelni. Célszerű ha a robbantómesterek a helyi szokásnak megfelelő és jól begyakorlott szisztémát alakítanak ki a gyutacsvezetékek sorbakötésére, mely áttekinthető legyen és lehetőleg a gyutacsvezetékek rövidítését is lehetővé tegye.

A batározás műveleténél is be kell tartani az egyes műveletek sorrendiségét és azok egymásba való illesztésének tilalmát. Ezért a fűrési munkálatokat a töltési munkálattól el kell különíteni. A töltés befejezése után kell elkezdeni a kötözést, és ha az kész, csak akkor lehet a robbantó fővezetékre és a robbantógéphez csatlakozni, leadni a nagyrobbantásoknál szokásos jelzésrendszert és végül elvégezni a robbantást. A robbantási terület ellenőrzésére ekkor is elsőként a vezető robbantómesternek kell ellenőrzés céljából bemenni. A robbantás vége jelzés csak akkor adható le, ha a robbantás maradéktalanul megtörtént. A munka vége természetesen a robbantómesterek részére akkor van, ha a robbanóanyag raktárban is az elszámolást és visszavételezést megtették, valamint a robbantáshoz használt eszközöket (töltő pálca, robbantógép, Ohmmérő, stb.) is a raktározási helyre szállították a megfelelő tisztítás esetleges karbantartás után.

7.6. Épület, építmény, építmény maradványok robbantási munkái

Ezek a robbantások szinte kivétel nélkül egyedi robbantások, ezért előkészítésük és elvégzésükre nem lehet RTE-t készíteni. Előkészítésük is egyedi, és a robbantási engedély iránti kérelem elkészítésével kezdődik melyhez sokszor robbanóanyag felhasználási kérelmet is be kell nyújtani. Műemlékek esetén, vagy útlezárás szükségénél más hatósági engedély, vagy hozzájárulás beszerzése is szükséges lehet.

7.6.1. A robbantási engedély iránti kérelem

A kérelem elkészítéséhez szükség van egy hivatalos megrendelő levélre és az ehhez csatolt bontási engedélyre. A megrendelő levél megérkezése után szokott általában megtörténni az első helyszínelés és azon a megegyezés, hogy az előkészítő munkákat (helyszínrajz beszerzése, fúrás, takaró anyagok beszerzése és helyszínre szállítása, robbantási segédszemélyzet biztosítása, őrzés és megrendelése, hozzájárulási nyilatkozatok beszerzése, stb.) ki végzi részbe, vagy egészben, milyen időütemezést lehet kialakítani a munkákhoz, milyen időpontban lehet a robbantást elvégezni, ha több robbantás szükséges ezek milyen ütemezésben végezhetők, a kapcsolat tartás módja. A robbantási munka nagyságától függően természetesen egyes munkafázisok el is maradhatnak, így például nem szükséges hozzájárulási nyilatkozatok beszerzése, mert a robbantás a megrendelő telephelyén történik, és a robbantás nem veszélyezteti a megrendelő környezetében lévő üzemeket, vagy lakásokat.

A robbantási engedély iránti kérelem, melyet a területileg illetékes bányakapitányságnak kell címezni, általában nem több, mint egy – másfél oldal, mely tartalmazza a robbantás célját, helyét és érvényességi idejét, a robbantásokon résztvevő robbantómesterek adatait, továbbá az utalást arra, hogy a műszaki leírás tartalmazza a robbantásokhoz szükséges számításokat (töltet számítás, védőtávolságok meghatározása, körök száma, a robbantógép teljesítményétől függő indíthatóság), a védelmi intézkedéseket, az érintettek értesítését, a védőberendezések elkészítését és elhelyezését, a robbantási jelzésrendet, stb. A műszaki leírást, továbbá a megrendelő levelet, a bontási engedély másolatát és minden olyan dokumentumot, ami a robbantást elősegíti, lehetővé teszi, mellékletként a robbantási engedély iránti kérelemben fel kell sorolni, és csatolni. Ökölszabályként az mondható, hogy minden dokumentumot meg kell adni a bányakapitányságnak, ami alapján a kérelem egyértelműen elbírállható és megadható. Ha a dokumentumok az elbírállást nem teszik lehetővé, vagy a dokumentumok alapján kétség merül fel azzal kapcsolatban, hogy nem történik-e olyan károkozás, melynek értéke nem téríthető meg, és ezen megtérítés módját a műszaki leírás nem tartalmazza, akkor a bányakapitányság a robbantási engedély kiadását megtagadhatja, vagy hiánypótlásra kötelezheti a robbantási engedélyt kérvényezőt.

Mint az az eddig leírtakból következik a robbantási engedély iránti kérelem legfontosabb része a műszaki követelmények, mely több részre oszlik. Első részben általában a töltet számítás szokás elvégezni, mely-hez szükség van a robbantásra kerülő építmény, falszakasz, vagy egyéb bontandó létesítményrész méreteire. Ezekből a méretekből kell meghatározni, hogy mekkora lehet az előtét nagysága és a kívánt robbantólyuk hossza. Ezen paraméterek birtokában kell meghatározni az egy robbantólyukba kerülő töltet nagyságát, és ha az előtét nagysága és a lyukhossz együttesen megkívánja, akkor az egy lyukba kerülő osztott töltetek számát. A lyuktelepítést a könnyű áttekinthetőség céljából ábrázolni szokás a beszerzett helyszínrajzon, vagy ha ez nem áll rendelkezésre a helyszíni szemle alapján készített rajzon. Ezen rajz alapján kell meghatározni a lyukak számát azt is figyelembe véve, hogy az építmény szakaszból esetleg több is van. Ha az építmény mérete szerint több eltérő méretű építmény szakasz is

van, akkor ezekre természetesen újra el kell végezni a számítást, ha szükséges új rajz készítésével. Több ilyen egy mástól eltérő méretű szakasz esetén az áttekinthetőség növelése miatt a helyszínrajzon ezeket a szakaszokat célszerű eltérő színezéssel jelölni, és a töltetszámítást táblázatban is összefoglalni. Ebben a táblázatban kell megadni a kívánt időzítést is. Célszerű az itt robbanó időzített tölteteket az időzítés szerint szétbontva megadni, melynek jelentősége később nemcsak a mértékadó töltet megállapításakor lesz, hanem megkönnyíti az egy időzítési fokozatú robbantólyukak helyszíni kijelölését is a robbantás előkészítésekor. Az egy időfokozatban robbanó töltetet nagyságokat és a gyutacsok mennyiségét ismét táblázatba kell foglalni. Ez alapján kell a robbantáshoz a robbantóanyag vásárlási engedélyt megkérni, ha a robbantóanyag nem áll teljes mértékben a robbantást végző részére.

A robbantólyukak és az azokban elhelyezni kívánt gyutacsok számából, a gyutacsvezetékek hosszát is figyelembe véve meg kell határozni a sorba kötött gyutacsok teljes ellenállását. Mivel gyakran nagyszámú gyutacs felhasználására kerül sor, továbbá az egymás mellett levő lyukak távolsága általában nem nagy, szinte mindig van mód a gyutacsvezeték rövidítésére. Erre a rövidítésre hivatkozva kell meghatározni az egyes gyutacsok ellenállását és a kör ellenállását. Ha kör ellenállása a számításnál túl nagy, meg kell határozni, hogy a teljes hálózatot hány párhuzamos körre kell elosztani. A robbantásnál felhasználni kívánt robbantógép adataiból ezt követően ki kell mutatni, hogy az egyes körökre 20% pontossággal azonos elektromos energia jut, és ezen energia elegendő a gyutacsok indításához, azaz az egy Ohm ellenállásra jutó energia nagyobb, mint a gyutacstípusra az ÁRBSz által megadott az indításhoz szükséges specifikus energia.

Az időzítés és az egyes fokozatokhoz tartozó robbantóanyag mennyiségek ismeretében a helyszínrajzon ki kell jelölni a biztonsági távolságokat. Ehhez meg kell határozni az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat (ÁRBSz) mellékletei alapján a személyek és vagyoni tárgyak védelmére a szeizmikus biztonsági távolságot, a szórásveszély elleni biztonsági távolságot és a léglökés elleni biztonsági távolságot.

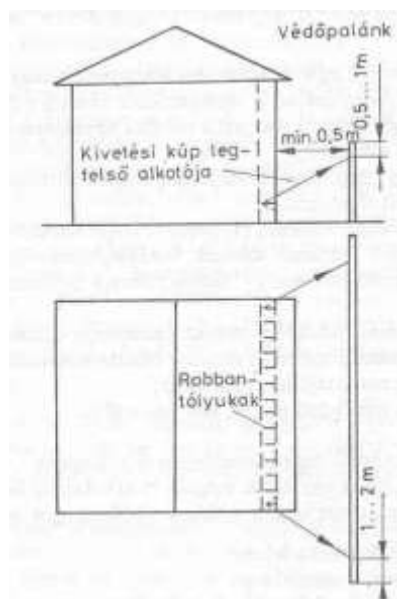
Amennyiben rátett töltetet (például fémvágó töltetet) nem alkalmaznak, úgy a léglökés nagyságára vonatkozó meghatározás megfelelő indoklással elhagyható.

A szórásveszély elleni biztonsági távolságot a lakott településen végzett robbantások miatt általában csökkenteni kell, melynek lehetősége a védőtakarás. Ennek minőségét és elhelyezését esetlegesen szakértői véleménnyel is alá kell támasztani. A csökkentés szükséges mértéke szabja meg a takarás minőségét és így az árát is. Beton épületrészek robbantása esetén bevált takaróanyag a használt gumiszalag, mely mintegy három –négy alaklommal is használható a teljes tönkremenetelig. Ennél hatásosabb a használt gumiabroncsok futófelületének összefűzésével elkészített takaró. Hátránya, hogy nehéz és csak körülbelül méterszer méteres takarók készíthetők (7.4. ábra). Akkor a leghatásosabb takaróanyag, ha sikerül néhány centiméterrel a robbantott felülettől eltartani, mert ekkor a robbantásnál keletkező lökeshullám nem dobja le a takart felületről.



7.4. ábra
Autógumikból készített takarószőnyeg

Nyugaton elterjedten alkalmazzák takaró anyagként a műanyag szálakból szövött „robbantó matracot” (Sprengmatte), melynek előnye, hogy a robbantandó felületre közvetlen ráhelyezhető, mivel a robbantási gáztermékeket átengedi, és csak a szilánkokat fogja meg. Hátránya, hogy általában csak egyszer használható. A takaróanyag hasonlít a hazánkban is kapható geotextiliához, mely nem annyira erős, mint a nyugaton használt, ezért hazánkban ez nem vált be.



7.5. ábra
A védőtakarás elhelyezése egy falszakasz robbantásánál

Hazánkban leginkább bevált takaróanyag a nádpallóból és megfelelő hosszú és széles lécekből kialakított két rétegű takarás. Ekkor ügyelni kell az eltartásra, továbbá a védőfal megfelelő magasságának megválasztására is (7.5. ábra). Gyakori, hogy a védőpalánkot nekifektetik felső emével a robbantása kerülő falszakasznak. Az egyes szakaszok összeépítésénél figyelembe kell venni azt is, hogy a védőtakarás mintegy 100 ms időtartamig hatásos, ezért az időzített robbantások esetén 100 ms időtartamonként összeépítés nélkül kell a védőtakarást elkészíteni.

Ugyancsak bevált, különösen nagy szórásveszélyes robbantások esetén (kémény robbantás) a szalmabálákból készített fal, mely közvetlenül, eltartás nélkül a robbantási felületre helyezhető. A szalmabála egyszer használható takaróanyag, igaz a robbantás után alomként még használható.

Nagy beépítettségű területen végzett robbantások esetén az engedélyező hatóság a védőtakarás tervezését külön szakértői engedélyhez kötheti.

A szórásveszély elleni védőtávolságot a közműveket is tartalmazó térképen fel kell tüntetni csak ezen védőtávolság jelzésére használt színnel, és fel kell tüntetni a szükséges őrhelyeket is. Ha ezen a védőtávolságon belül védett helyként nyilvánítható építmény van, és ez állandó tartózkodásként szolgálhat személyeknek, akkor ezen személyek védelméről is intézkedni kell. Ezt az intézkedést is a kérelemnek tartalmazni kell. Ha személyek védelmére hatósági segítséget (például a rendőrséget) is igénybe kívánnak venni, azt ugyancsak tartalmazni kell a kérelemnek.

Külön részt kell szentelni általában a szeizmikus biztonsági távolság meghatározásának és az építmények rezgések elleni védelmének. A szeizmikus biztonsági távolságot az

$$(7.1.) \quad L = k \cdot \sqrt{Q}$$

képlettel kell meghatározni, és ezt a távolságot is fel kell tüntetni a térképen. A képletben Q a mértékadó töltet, melynek meghatározásához a töltetszámításnál elkészített táblázatot igénybe lehet venni. A k meghatározásához az ÁRBSz ide vonatkozó fejezete tartalmaz előírást. A képletben Q -t kg-ban kell helyettesíteni, és ekkor az L távolság m-ben adódik.

Amennyiben ezen a távolságon elül valamilyen épített tárgy van, akkor ezekre a műtárgyakra meg kell határozni a megfelelő képletekkel a műtárgyra jutó szeizmikus rezgési sebességet a

$$(7.2.) \quad v = k \cdot \frac{\sqrt{Q}}{l}$$

képlettel, ahol l a robbantási szakasz műtárgy távolság, melyet m-ben kell megadni. Ekkor v értékét mm/s egységben kapjuk. A vizsgálatra került műtárgyra a még megengedhető legnagyobb rezgési sebesség értékét az ÁRBSz előírásai és a helyi felmérés együttes figyelem-bevételével meg kell állapítani,

mely értéket a számított rezgési sebesség nem léphet túl. Kritikus, vagy kérdéses esetekben a még megengedhető rezgési sebesség értékét szakértői vélemény alapján kell meghatározni, melyet a kérelemhez mellékelni kell. Ilyen kritikus, kérdéses esetben, vagy ha több robbantás történik, a bányahatóság előírhatja a robbantáskor keletkező rezgési sebesség műszeres meghatározását.

A kérelem befejező szakaszában kell megadni az esetleges különleges intézkedéseket. Ugyanitt kell megadni a robbantás előtt szükséges intézkedéseket, és a robbantással kapcsolatos jelzésrendet.

7.6.2. A robbantási engedély elkészítése utáni tennivalók, a robbantás előkészítése és elvégzése

A robbantási munka nagysága, és a robbantási hely környezete a hagyományos bányabeli robbantásokhoz képest más jellegű és gyakran bonyolultabb előkészítő munkát kíván. Nagy épület, vagy építmény robbantásos bontása esetén a környezet olyan nagy mértékben érintett lehet, hogy a robbantásnál a lakóságtól elvárni kívánt viselkedést külön a lakósági fórumon kell ismertetni. A lakósági fórum összehívását szórólapok elhelyezésével lehet kezdeményezni a robbantás megkezdése előtt akár néhány héttel előbb is. Egyszerűbb esetben elegendő lehet az egyszerű írásbeli értesítés is, mely tartalmazza az érintett lakosság elkívánt viselkedését: zárják be az ablakot a porszennyezés miatt, ne álljanak olyan ablak mellé, mely a robbantás irányába néz, vegyék figyelembe a robbantási jelzéseket, stb. Zárt üzemerület esetén már kevesebb lehet ez a tennivaló, hiszen ez már akár szóbeli igazgatói utasítással is megoldható. Kisebb robbantási munkák esetén elegendő lehet a lakosok írásos tájékoztatása, vagy csak a szóbeli tájékoztatás. Mindennek eldöntése a robbantásvezető feladata, de ezeknek az intézkedéseknek egyezni kell a robbantási engedély iránti kérelemben foglaltakkal, továbbá azzal, hogy várható-e a bányahatóság különleges előírása. A várható előírásról célszerű úgy meggyőződni egyes esetekben, hogy a robbantási engedély iránti kérelem benyújtása egyben a robbantási munkával kapcsolatos konzultáció is.

A robbantási munka nagysága és a töltéshez, kötözéshez, takaráshoz szükséges idő szabja meg azt, hogy mikor kell a gyutacsok ellenőrzését, és a robbanóanyag előkészítését, a takaróanyagok helyszínre szállítását elkezdni. Ugyancsak el kell dönteni, hogy a fojtás anyagát milyen mennyiségben és mikor szállítsák a helyszínre. A fojtás anyaga függőleges lyukak esetén célszerűen homok, vízszintes lyukak esetén azonban célszerűbb a gyúrható agyagból készített fojtás. Ennek előkészítéséhez nagyobb robbantás esetén célszerű külön brigádot szervezni. Az ilyen agyagfojtást előkészítőknek meg kell mutatni, hogy a fojtásdarabokat hogyan és milyen nagyságban kell elkészíteni. Erre alkalmas egy robbantómester is. A fojtás elkészítésére illetve elhelyezésére ugyancsak segédzemélyzet kérhető fel, mely alól kivétel általában közvetlen a töltetre kerülő első fojtásdarab, és az osztott töltetek közé kerülő fojtásszakaszok.

A töltési munkák elkezdésének időpontját a robbantásvezetőnek kell meghatározni figyelembe véve azt az esetleges kikötést is, amely megszabja a robbantás időpontját. Nagy építmény esetén megeshet, hogy a töltési és kötözési

munka nem végezhető el a robbantásra kijelölt napon. Ekkor a töltési munkákat vagy éjszaka kell elvégezni, vagy az előző napon. Ezen utóbbi esetben éjjel a már letöltött robbanóanyagot fegyveresen őriztetni kell. Ennek megszervezése is a robbantásvezető feladata.

A töltés és a fojtás befejezése után lehet a kötözéshez hozzáfekszni. Nagyon-nagy épület, vagy építmény esetén a nagyszámú lyuk és töltet miatt szinte elkerülhetetlen, hogy ezt a műveletet ne több robbantómester végezze. Ebben az esetben különösen gondosan kell ügyelni az egyes robbantómesterek által kialakított részhálózatok áttekinthetőségére és az egyes részek megfelelő összekötésére. Általában az ilyen esetekben a teljes robbantókört osztani kell, gyakran kettőnél is több részre, ezért célszerű az egyes robbantómesterek által kötözött részek azonnali ellenállásának mérése több szempontból is. A legfontosabb az esetleges hibás gyutacs azonnali megkeresése, a másik fontos szempont az, hogy a részkör ellenállásának ismeretével a körosztás könnyebben elvégezhető. A robbantásvezető feladata, hogy a kötözés megkezdésekor a robbanóanyaggal letöltött helyszínen a robbantómestereken kívül már senki ne tartózkodjon, és a kötözés megkezdésekor a segédszemélyzet ha lehet azonnal kezdjen hozzá a védőtakarás elhelyezéséhez, ha az a kötözési munkát nem zavarja. Ha a robbantási területet le kell fedni (például szabadon álló betontárgy bontásánál) ezen utóbbi munka természetesen csak akkor kezdhető meg, ha a robbantókörök kialakítása megtörtént. A takarás elhelyezése közben ekkor célszerű folyamatos ellenállás méréssel a már kialakított kört figyelni, így a véletlen szakadás szinte azonnal megtalálható és javítható.

A takarás befejeztével és a robbantókörök kialakítása után az utolsó biztonsági intézkedés a robbantási engedélyben meghatározott terület lezárása és ennek határára az őrség kiküldése. Ha a terület lezárására karhatalmat is igénybe vesznek, az őrség kioktatására ekkor is nagy gondot kell fordítani. Ha az őrség minden kétséget kizáróan elfoglalta a helyét, azaz lezárta a területet le kell adni a robbantási engedélyben rögzített jelzést és el kell végezni a robbantást. Az őrséget arról is ki kell oktatni, hogy a robbantásnak akkor van vége, tehát a terület lezárását akkor oldhatják fel, ha a vezető robbantómester a robbantási területet ellenőrizte, rendben találta, és a terület feloldására az utasítást kiadta. Rendellenesség esetén a robbantásvezetőnek kell eldönteni, hogy a biztonság érdekében milyen intézkedést hozzon, így azt, hogy nincs-e szükség újabb robbantásra (megállt kör), akárcsak ideiglenesen is felszabadítható-e a terület lezárása, a szükségesnek tartott intézkedéshez nem kell-e a bányakapitányság rendkívüli engedélyét kikérni. Ha újabb robbantásra van szükség azt mikor lehet minél előbb elvégezni. Veszélyelhárítás miatt szükséges engedélyt különleges esetekben a bányakapitányság azonnal, akár telefonon keresztül is kiadhat.

7.7. Mezőgazdasági és erdészeti robbantások

Ezeknek a robbantásoknak különböző céljai lehetnek, így facsemeték ültető gödreinek kirobbantása kemény, sziklás talajban, vagy sziklában; kivágott fák tuskóinak eltávolítása; gazzal, náddal benőtt, vagy eliszaposodott csatornák, vízfolyások tisztítása; trágya terítése robbantással; hogy csak a legfontosabbakat említsük. Az ilyen robbantások mindegyike szinte kivétel nélkül egyedi

robbantás, ezért a munka kivitelezéséhez robbantási engedélyt kell kérni és általában RTE nem készíthető, mely alól egyedül talán a trágyaterítés robbantással lehet kivétel.

8. Hibás robbantások, megállások és nem kívánt robbantások okai

A robbantómesterek rémálmai közé tartoznak azok a robbantási munkák, melyeknél valamilyen elkövetett hiba miatt a robbantás részben, vagy egészben állva marad, egyben olyan veszélyhelyzetet teremthet, melynek felszámolása különleges odafigyelést és nagy tapasztalatot kíván. Ezek a megállások többnyire valamilyen munka közben, vagy a munka előkészítése közben elkövetett hibára vezethetők vissza, ezért gondos munkával, ellenőrzéssel, vagy előkészítéssel kiküszöbölhetők. Gyakran a megállt robbantásnál bekövetkező veszélyhelyzet nem szüntethető meg azonnal, vagy a robbantáshoz tartozó biztonsági feltételek teljesülése alatt. Ekkor a veszélyes terület lezárásáról is gondoskodni kell, és ezt a bányakapitányság felé is jelenteni kell. Ha a veszélyes helyzet a robbantási engedélyben meghatározott feltételekkel nem szüntethető meg, új robbantási engedély kérvényezésére is sor kerülhet, melyet a veszélyhelyzet mielőbbi megszüntetésére a bányakapitányság soron kívül, azonnal, nagy veszélyforrás esetén akár szóban is megadhat.

A megállt robbantásoknál is veszélyesebb a robbantási munka közben bekövetkező nem szándékos robbantóanyag robbanás, melyek általában személyek sérüléséhez, vagy halálához vezethetnek. Ezeket az eseteket a bányakapitányságnak szintén jelenteni kell, mely alapján a bánya-kapitányság szinte minden esetben vizsgálatot kezdeményez általában szakértők bevonásával.

8.1. A gyutacsok hibái vagy azok kezelésénél elkövetett hibák

A robbantóanyag hibája gyakran alig kikereshető hibaforrás is lehet. Szerencsére ezek előfordulása ritka, gyakoribb viszont a gondatlanságra visszavezethető hiba, mely a nem kellő figyelés, vagy nem kellő szakmai ismeret eredménye lehet.

8.1.1. A gyutacsok hibájából származó elállások

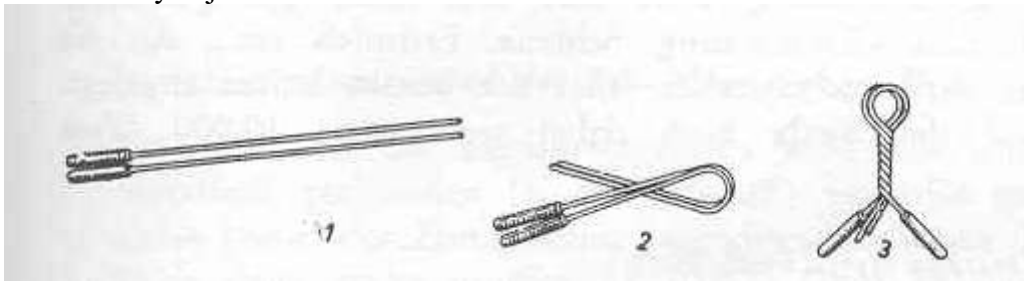
Ritkán előforduló hibák, melyek felkutatása szinte lehetetlen mert a zárt hüvely ezt nem teszi lehetővé. Ezek a hibák a modern gyutacsgyártással már alig jelentkeznek, becslések szerint előfordulási valószínűségük kisebb mint egy a millióhoz, azaz legfeljebb több mint egy millió gyutacs esetén várható egyetlen hibás gyutacs. Ilyen hiba lehet a gyújtófej elferdülése a hüvelyen belül, a gyújtófejen lévő gyúelegg hibája, vagy teljes hiánya, az időzít betét kémiai összetételének hibája. Az ilyen hibák miatt előálló elállások kiküszöbölése gyakorlatilag lehetetlen. A hiba legfeljebb akkor állapítható meg, ha a gyutacs a robbantás után fellelhető, és röntgen felvétellel következtetni lehet a hibára.

8.1.2. A gyutacs helytelen elhelyezése az indító töltetben

A gyutacs szerepe az indító töltetben a robbanóanyag indítását létrehozó lökéshullám keltése. Az indító töltet akkor indul biztonságosan, ha a lökéshullám az indító töltény tengelyének közepén keletkezik, melyet csak úgy lehet létrehozni, ha a gyutacs elhelyezése is az indító töltény tengelyébe kerül. Emlékeztetőül szolgáljon a 3.7. ábra.

8.1.3. Kötözési hibák és a söntölődés

A raktározás során a szigeteletlen gyutacsvezetéken kisebb-nagyobb mértékű oxidáció keletkezhet, mely megnövelheti a gyutacsvezeték és így a gyutacs összellenállását. Ugyancsak ezt eredményezheti a munka során a gyutacsvezetékre kerülő szennyezés is. Ennek a hibának a kiküszöbölése a gyutacsvezeték rövidítésével és a vezetékek szoros egymáshoz csavarásával történhet. Ilyen jó kötést a 8.1 ábra szerint lehet létrehozni.



8.1. ábra

Egy kellően szoros kötési hely létrehozásának három fázisa

Ugyancsak általánosan el kell fogadni, hogy a kötözés akkor jó, ha a kialakított kör áttekinthető. Ez az áttekinthetőség teszi lehetővé a kötözés ellenőrzését, és ezen belül azt is, hogy az összes gyutacs bekötésre került-e.

Az áttekinthetőség azonban nem küszöböli ki annak lehetőségét, hogy a gyutacsvezeték nem kíméletes kezelése esetén ne szakadjon el, ezért a robbantókör ellenállását célszerű akkor is megmérni, ha az az ÁRBSz előírása szerint nem kötelező, azaz a robbantógép terhelhetőségének 80%-ánál kisebb a várt ellenállás. Különösen veszélyes az a jelenség amikor az ellenállás mérő mutatója „leng”, vagyis hol mér ellenállást, hol pedig szakadást jelez. Ez a jelenség akkor fordul elő, ha a gyutacsvezeték szigetelésén belül olyan szakadás van, melynél a szakadási felület hol összeér, hol nem, attól függően, hogy a vezeték hogyan leng. Az ilyen szakadás is elálláshoz vezet, ezért a szakadási helyet meg kell keresni.

Ha a szigeteletlen kötési helyek a talajhoz, vagy a közethez érhetnek a kötési helyek között, és nem csak a gyutacsvezetéken a közeten keresztül is áram folyhat, a vezetékek söntölődnek. Különösen nedves nyirkos kőzetek esetén, vagy felázott, sáros talajnál az így létrejött söntellenállás olyan kicsi is lehet, hogy az alig haladja meg a gyutacsok ellenállását. Ilyen esetben a robbantókör kisebb-nagyobb része elállhat. a jelenség ellen kétféle módon is védekezni kell. Egyrészt a kötési helyekre szigetelő hüvelyeket kell húzni, másrészt a robbantó

fővezetékre való két kötést a robbantási felület adta lehetőség figyelembevételével egymástól minél távolabb kell elhelyezni. A legbiztonságosabb természetesen a két lehetőség kombinációja.

Részleges megállás esetén általában a megállt gyutacsokon keresztül is fojt áram, de nem indította a gyutacsokat. Ezeknek a gyutacsoknak a gyúelegye ezért részben meggyulladhatott, de a gyúelegy teljes égése nem következett be, tehát a gyújtószál közvetlen környezete már nem az eredeti. A részben megállt kör gyutacsait ezért újraindítás esetén a lehető legnagyobb energiával kell indítani.

8.2. Robbanóanyag és töltési hibák

A robbanóanyagok iniciálása szinte kivétel nélkül lökeshullámmal törté-nik. A az indításhoz szükséges lökeshullám energiája határozza meg azt, hogy a robbanóanyag gyutaccsal indítható-e, vagy nem. A már indított robbanóanyagban a robbanóanyag robbantás fizikai tulajdonságaitól függ, hogy a stabil detonáció fennmarad-e, vagy sem.

8.2.1. Indító töltettel indítható robbanóanyagok elállásának kiküszöbölési lehetősége

Ezeknél a robbanóanyagoknál a Nobel 8-as erősségű gyutacsok által keltett lökeshullám nagysága nem szolgáltat elegendő energiát (az adiabatikus nyomásnövekedés nem eredményez akkora hőmérséklet növekedést, hogy a kémiai reakciók beinduljanak, vagy ha beindult rövid szakaszon belül ne álljon le) ahhoz, hogy stabil detonáció jöjjön létre. Az ilyen robbanóanyagok például a közönséges műtrágya nem porózusos prilljéből készített ANDO, vagy ANFO robbanóanyag, és azok az emulziós robbanóanyagok, amelyeknél a hozzáadott levegő zárványt, vagy a kémiailag képződött zárványt a lökeshullám adiabatikus kompressziója az emulziót nem tudja a robbanási hőmérsékletre emelni. Ezeknél a robbanóanyagoknál a gyártó előírja az indító töltet nagyságát és minőségét. Az indító töltet előírt nagysága általában a főtöltet 10%-a. Hosszú (10 m-nél is hosszabb) töltetek esetén úgy tűnik ezek az előírások túl nagy indító tölteteket követelnek. Kellő óvatossággal elvégzett kísérletekkel ez úgy tűnik legalább felére-harmadára is lecsökkenthető, azonban különösen ANDO robbanó-anyagok esetén erősítő töltetek elhelyezése szükséges lehet, melyeket körülbelül 5 m-es töltethosszaknál már alkalmazni kell.

A kémiailag érzékenyített, tehát nem zárt gyönggyel aktivált emulziós robbanóanyagok esetén, a töltet hosszából származó hidrosztatikus nyo-más megnövekedése miatt a gyutaccsal keltett lökeshullám esetleg már nem képes elegendő adiabatikus kompressziót, és így kellő hőmérséklet emelkedést létrehozni az eredetileg gyutaccsal indítható emulziós robbanóanyagban, így az esetleg nem indítható, vagy rövid távolságon belül leáll a detonáció. Az ilyen eset gyanúja esetén az emulziós robbanóanyagot már gyutaccsal nem indítható robbanóanyagnak kell tekinteni, és indító töltettel kell indítani.

Rossz lyuktelepítés és időzítés esetén a kémiaiilag aktivált emulziós robbanótöltetben lévő gázzárványok nyomását a szomszédos robbantólyukban felrobbanó robbanóanyag által keltett dinamikus közetnyomás hatása az emulzió gázzárványainak nyomását szintén megemelheti a robbantólyuk átmérőjének deformációja miatt olyan mértékben, hogy az emulzió már gyutaccsal nem lesz indítható. Az ilyen robbantási technológiai hiba szintén elálláshoz vezethet. Ennek kiküszöböléséhez kísérletekkel kell a megfelelő lyuktelepítést és a helyes időzítést kikísérletezni.

8.2.2. A robbanóanyagok agyonpréselése

Ha a robbanóanyag töltények behelyezése a robbantólyukba valamilyen nehézséggel jár például azért, mert a fúrt lyuk fala omladékos, a töltényeket a robbantómester csak nagyobb nyomással tudja a lyukba helyezni. Ilyen esetben előfordulhat, hogy a nagy nyomás hatására a gázzárványok túlzottan összepréselődnek a robbanóanyaggal együtt, mely a már előzőekben tárgyalt megálláshoz vezethet, azaz a robbanóanyag részben, vagy teljes hosszban eláll. Ennek ellenkező esete ha a robbantólyuk átmérője túlzottan nagy a robbanóanyag töltényéhez viszonyítva. Ebben az esetben a gyutacs felrobbanása után keletkező lökeshullám a töltetből kilépve a töltények és a robbantólyuk fala közötti térben megelőzheti a robbanóanyagban terjedő lökeshullám terjedését, és a lökeshullámmal még el nem ért robbanóanyag szakaszt össze-préselheti olyan mértékben, hogy az a lökeshullám hatására már nem indul. Ez a csatorna effektus és részleges megálláshoz vezet.

Az első megállás típus elleni védekezés nyilvánvaló: a robbanóanyaggal a töltési munkafázisban is kíméletesen kell bánni, és inkább még töltés előtt ki kell tisztítani a robbantólyukat legalább töltőpálca járatásával. A második esetben a töltények átmérőjének megválasztásával, vagy a fúrókorona átmérőjének megválasztásával a robbantólyuk átmérőjét és a robbanóanyag töltényének átmérőjét illesztjük egymáshoz. Általánosan az mondható, hogy kívánatos elérni, hogy a töltények átmérője legfeljebb 80%-kal legyen kisebb, mint a fúratok átmérője.

8.2.3. A töltények közötti detonáció átadási távolság hiánya miatti megállások

Mint az a robbanóanyagok tulajdonságainak ismertetésénél említésre került, egy több töltetből álló töltetoszlop maradéktalan felrobbanása attól is függ, hogy az egyes töltények között mekkora a távolság, azaz a detonáció átadási távolságtól. Ez a távolság jelentősen lecsökkenhet ha a töltények közé levegő helyett idegen anyag, például fúróliszt kerül. Az újabban nagymértékben elterjedt ANDO és emulziós robbanóanyagok esetén a detonáció átadási távolság nulla cm, azaz nem megengedhető, hogy a töltetek ne szorosan illeszkedjenek, főleg pedig az, hogy a töltet szakaszok közé fúróliszt, vagy közetomladék kerüljön. Ha ez mégis megtörténik az így megszakított töltetoszlopot új indító töltettel ellátva újra kell élesíteni. Nem lehet eléggé hangsúlyozni ezért különösen a mélybányászatban, vagy alagút készítéseknél használt kisátmérőjű (40 mm átmérő körüli) fúratok

tisztítását legalább a töltővessző alapos járatásával, vagy a lyukak tisztítását sűrített levegős fúvatással.

8.3. Nem kívánt robbanások

A robbantási munkák előkészítését és kivitelezését az ÁRBSz szigorúan szabályozza, sőt ezen kívül a robbantási engedélyben, vagy a bányahatóság által jóváhagyott RTE-ben a helyi esetleges különleges körül-mények miatt a bányahatóság külön betartandó intézkedéseket, előzetes vizsgálatokat is megkövetelhet. Ezért nem kívánt robbanás szinte minden esetben az előírások megszegése, vagy figyelmen kívül hagyása miatt következhet be. Ezek általában súlyos, gyakran halálos baleseteket követelnek, így az ilyen robbanásokat minden esetben a bányahatóság felé jelenteni kell és azt kivizsgálják.

8.3.1. Kóboráram veszélyes robbantások

A bányákban, vagy az építési területeken gyakran dolgoznak olyan villamos gépek, amelyekről meghibásodásuk esetén, vagy működési mechanizmusuk alapján a környezetükben a talajban villamos áram folyik. Ez a kóbor áram. A talaj ellenállásának függvényében ez a kóbor áram feszültséget (lépés feszültséget) kelt. Ez a lépésfeszültség elegendő nagy lehet ahhoz, hogy a gyutacsvezeték két végének földre kerülésekor a két pont közötti feszültség miatt akkora áram folyjon, mely a gyutacs indulásához elegendő. Ekkor a nem kívánt robbanás bekövetkezhet.

A kóboráramveszély kizárására, illetve csökkentésére hazánktól nyugat-ra csak én gyutacsok használhatók a bányászatban és az építő ipari robbantásoknál. Különösen kóboráram veszélyes területeken (villa-mosított vasutak mentén) a még ezeknél is érzéketlenebb Porex, illetve a HU gyutacsokat kell használni. Hazánkban a bányahatóság ilyen veszély fennállása esetén a robbantási engedély kiadásakor a kóboráram meghatározását műszeres mérés segítségével előírhatja. Az előírások szigorúsága miatt hazánkban ilyen jellegű nem kívánt robbanás tudomásunk szerint még nem következett be.

8.3.2. Villamos árammal működtetett (alumínium) kohókban végzett robbantások

A veszélyforrás az ilyen robbantásoknál kettős: a nagy indukciós áram és a lehetséges lépésfeszültség, valamint a magas hőmérséklet. A lépés-feszültség miatt bekövetkező nem kívánt indítás elleni védekezés nyilvánvaló: szigeteletlen kötési hely nem kerülhet még véletlenül sem a huta talajára.

Indukciós áram akkor jöhet létre, ha a kohó működése közben hirtelen áramkimaradás és újra indulás miatt a zárt robbantókörben a nagy mágneses fluxus hatására akkora áram indukálódik, mely elegendő lehet a gyutacs indulásához. Ez ellen kettős védelem is alkalmazható: rész-szint a lehető legkisebbre kell csökkenteni a robbantó vezetékek által bezárt felületet a

vezetékek szoros egymás mellett vezetésével, másrészt nem szabad zárt kört létesíteni csak a robbantógép működésekor. Ez utóbbi úgy érhető el, hogy a gyutaccsal ellátott töltetet a nyitott végű robbantó fővezetékre csatlakoztatjuk, a lehető leggyorsabban elvégezzük a robbanóanyag elhelyezését a veszélyes terület lezárása és a robbantás következik jelzés leadása után, és ekkor csatlakozunk a robbantógépre, melyet azonnal működtetünk.

A másik veszélyforrás az, hogy a meleg anyag által a robbanóanyag akkora hőhatásnak is kitéhető, hogy azonnali indulása bekövetkezhet. Ezt hűtőköpeny segítségével lehet kiküszöbölni. A hűtőköpenyt úgy kell méretezni, hogy az előbb leírt robbantóanyag elhelyezési eljárás idejéig a hűtés hatásos maradjon, azaz robbanás csak a robbantógép működtetésekor következzen be. Nem villamos működtetésű kohók esetén természetesen a kóboráram és az indukciós áram elleni védekezés értelemszerűen elhagyható.

8.3.3. Zivatarkor keletkező villámcsapás elleni védekezés

A külfejtéses bányászat talán legveszélyesebb és hatásaiban alig kivédhető veszélyforrása a helyileg hirtelen keletkező, villámlással járó zivatar. Kedvezőbb a helyzet, ha a vihar távolban keletkezik és többé-kevésbé gyorsan a halad a robbantási hely felé. Ekkor már a közeledésének érzékelésével is emberéletet nem veszélyeztető intézkedések fogantathatók. A vihar előre jelzésére műszerek is születtek, melyek borsos árak miatt hazánkban nem terjedtek el. A bányahatóság megkeresésére a Bányászati Kutató Intézet (BKI) a műszeres előre-jelzéssel nem éppen alaposan foglalkozott, és végül is az árkérdés miatt azt javasolta, hogy a töltési munkák közben a hallgassanak egy telepről működtethető táská-, vagy zsebrádiót közép hullámon, mely a villám által keltett rádiófrekvenciás zavart recsegéssel jelzi. Nem ismeretes, hogy ez az olcsó és egyszerű jelzés miért nem terjedt el.

Annak ellenére, hogy a szakirodalom és a robbantási szakemberek véleménye a jelenséget nagy veszélynek tekinti, kevés a jelenségtől származó szerencsétlenül végződött ismert eset, mindössze kettőről tudunk hazánkban. Ezek közül egyet a BKI munkatársai vizsgáltak. A vizsgálat eredményeként a villámcsapás következtében bekövetkezett több töltet felrobbanása azért következett be, mert a vihar közeledését jelző jelenségek ellenére a batárok töltési munkáit tovább folytatták, sőt a töltési munkákkal egyidőben elkezdtek a kötözést is. A kötözést is úgy végezték, hogy a kötési helyeket nem szigetelték szigetelő hüvellyel, tehát azok az időközben eleredt eső miatt vizes, és így jól vezető talajra kerültek. A robbantási területtől a becslés szerint mintegy 25-50 m távolságban lecsapó villámtól származó töltés szétáramlás akkora lépésfeszültséget hozott létre, mely a robbantó hálózatba bekötött gyutacsokat indította.

A kevés tapasztalat ellenére azt kell tanácsolni védekezés gyanánt, hogy vagy minél előbb el kell végezni a robbantást még a vihar megérkezéséig, vagy a robbantási munkát fel kell függeszteni, le kell zárni a robbantás következtében veszélyes mértékű közetszórásnak kitett területet, le kell adni a robbantás következik jelzést, a gyutacs-vezetéseket ha már a kötözés megkezdődött a kötési helyeken szigetelő hüvelyekkel kell ellátni. Ha a kötözéshez még nem

kezdték hozzá, akkor a gyutacsokat rövidre zárva kell hagyni. Az így otthagytott robbantási területre ha villám csap le, akkor nagy valószínűséggel csak a közvetlen villámcsapásnak kitett robbantóanyag indul, és részleges elállás következik be. Mivel a villámcsapásban koncentrált elektromos energia kisebb erőmű által szolgáltatott energiával is megegyezhet, vagy azt meghaladhatja, a normál érzékenységgű gyutacsoknál érzéketlenebb gyutacsok sem adnak védelmet a nem kívánt indítás ellen.

9. A robbantások káros hatásai és a lehetséges védekezések ellenük

A robbantásra kerülő anyag megbontását célzó robbantásoknál a robbanóanyagban felhalmozott E_0 kémiai energiát szabadítjuk fel olyan energiákká, melyekkel kívánt és nem kívánt munka végzést hozhatunk létre. Erre az átalakításra a következő egyenlet írható:

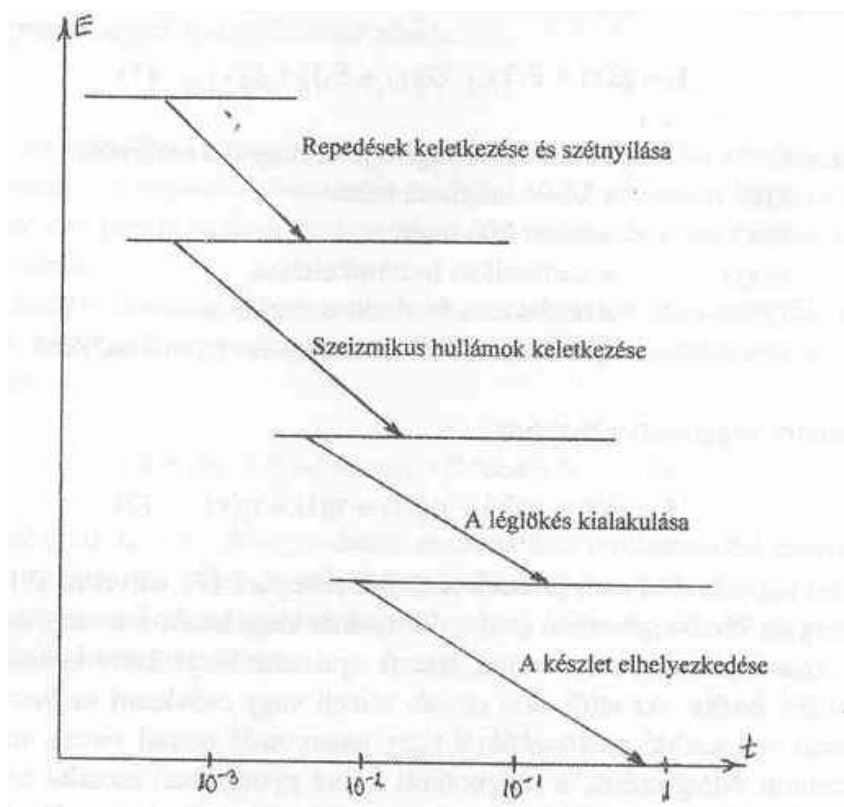
$$(9.1.) \quad E_0 = E_m + E_{sz} + E_l + E_k + E_v$$

ahol az egyes E energia fajták:

- E_m a közet megbontásra,
- E_{sz} a szeizmikus rezgések keltésére,
- E_l a léglökés létrehozására,
- E_k a robbantott közet kivetésére fordított energia, és
- E_v a további veszteségként (így hő, nem kellő átalakulás, stb) jelentkező energia hányad.

Az egyes energia fajták nagyságát a robbantási cél és a robbantási körül-mények határozzák meg. Kőzetmegbontást szolgáló robbantásoknál a cél a minél nagyobb E_m energiahányad elérése a cél, továbbá az, hogy a kivetésre fordított E_k energiahányad akkora legyen, hogy a közet könnyen rakodható legyen. Ugyancsak cél ekkor az, hogy az E_{sz} , E_l és E_v energiahányadok, melyek veszteségnek tekinthetők minél kisebbek legyenek. Másként kell tekinteni viszont a szeizmikus robbantásokat, ahol a cél az, hogy E_{sz} minél nagyobb legyen és az összes többi minél kisebb. Minden további magyarázat nélkül belátható, hogy az egyes robbantásoknál a robbantási technológiától függően az energiahányadok egy optimális értéket vesznek fel, ha a robbantás sikeres és eredményes volt. Minden más esetben, ha a robbantás nem sikeres ez az optimális arány felborul. Ha például a túl kicsinek megválasztott előtétel miatt a robbantási gázok kitörnek nagy lesz a hanghatás (léglökés), és veszélyes mértékű közetszórás keletkezik a normálisnak várt kivetés helyett. Erősen lecsökkenek ez esetben viszont a szeizmikus rezgések. Ellenkező esetben, ha túl nagy az előtétel és a kőzetmegbontás is alig történik meg, nem keletkezik kellő kivetés (túl kicsi lesz), ugyanígy a hanghatás is elmarad, nagy szeizmikus rezgések keletkeznek.

Ezeknek a hatásoknak az időbeli lefolyását nagyjából a 9.1. ábrán követhetjük. Az ábra alapján is nyilvánvaló, hogy az egyes energiahányadok a másikkal rovasára csökkenthetők, de teljes mértékben ki nem küszöbölhetők.



9.1. ábra

A robbanóanyagban felhalmozott kémiai energia felszabadítása után keletkező folyamatok energiaeloszlása

9.1. A közetmegbontás

A közetmegbontás folyamatával a 4.1. pont és az ezt követő pontok részletesen foglalkoznak, itt csupán megjegyzésre kívánczik az a tény, hogy reális közetek esetén a közetben már eleve vannak repedések és ezek további tágulása a nagy nyomású robbantási gázok hatására kedvezőbb energetikailag, mint a közetben új repedések keltése. A valós közetek esetén ezért csak a robbantási gázok nagy nyomásának kitett rész körülbelül 20-30%-ában várható újabb repedések keletkezése. A robbantott készlet szemszerkezetét nagyobb részt a már meglévő makró és mikró repedések határozzák meg. A repedések szétnyílása és a robbantási szabadfelületre való kifutása mintegy gátolja a nem repede-zett közetrészen újabb repedés keletkezését. A már elmozdult közethalmazban viszont ütközések jöhetnek létre, amelyek következtében a már mozgásban lévő közet tovább aprózódhat. A robbantólyuk közvetlen közelében keletkező nagy nyomás előnyösen hathat a mellette lévő robbantólyuk mentén kialakuló új repedések keletkezésére is. Nyilvánvaló, hogy ezeket az ütközéseket és időben kissé széthúzott nyomásnövekedéseket befolyásolni lehet azzal is, hogy milyen az egymás mellett robbanó lyukak időzítési távolsága. ennek megfelelően prognosztizálni lehet azt, hogy az egyes közettípusok esetén létezik olyan optimális időzítési intervallum, amelynél a közet aprózódása a lehető legnagyobb. Így az időzítéssel befolyásolni lehet azt, hogy az aprításra fordítható

energiahányad a legnagyobb legyen, a robbantás optimális legyen, és ennek megfelelően csökkenjen a szeizmikus hatás, a léglökés nagysága, és optimális legyen a kivetés is. Várható az is, hogy a szeizmikus hatás és a léglökés nagyságának meghatározásával az optimális aprózódásra is következtetni lehet.

9.2. A robbantások által keltett szeizmikus hullámok

A robbantólyukban lévő töltet felrobbanásakor a robbantólyuk falára ható nagy nyomás miatt a lyuk fala elmozdul, tágul. Ez a mozgás a robbantólyuk falának környezetében újabb elmozdulást hoz létre attól függően időben később, hogy az így létrehozott mozgás terjedési sebessége mekkora. Ez a terjedési sebesség a nagy nyomás miatt kezdetben meghaladja a közetben terjedő hang sebességét, azonban ez a nyomás a közetben erősen csökken, és a csökkenés következtében viszonylag hamar eléri a közetben terjedő hangsebességet, a nyomáshullám akusztikus hullámmá válik. A földalatti robbantásoknál ezek a hullámok az úgynevezett testhullámok, melyre jellemző a nagy frekvencia és általában az erős csillapodás, azaz ezek a hullámok viszonylag rövid úton elhalnak és alig, vagy egyáltalán nem észlelhetővé válnak. Azok a hullámok viszont melyek a földfelszínre kifutnak, vagy ott keletkeznek felületi hullámként terjednek tovább. Jellemzőjük, hogy a frekvenciájuk lényegesen kisebb, mint a testhullámoké, és kisebb csillapodással messze képesek terjedni.

A robbantás környezetében létrehozott hullám a terjedése során abban az anyagban melyben terjed az első hullám után újabb zavart hoz létre a talajban, mely újabb hullám kialakulásához vezet, és ezeknek a hullámoknak az összességét (szuperpozícióját) tudjuk műszeresen is meghatározni. A hullámkeltés miatt kialakuló elméleti mozgásra a matematikai számításokhoz az úgynevezett hullámegyenlet írható fel. Ennek tárgyalásához felsőbb matematikai ismeretek szükségesek, így a részletes tárgyalás helyett csupán arra szorítkozunk, hogy egy ilyen szeizmikus hullám esetén a vizsgált mérési pontban a kitérést a következő összefüggéssel lehet leírni:

$$(9.2.) \quad x = \sum_{i,j=1}^{\infty} [A_0 + A_i (\sin \omega_i t) + B_0 + B_j (\cos \omega_j t)]$$

ahol A_0 és B_0 a vizsgált pont nyugalmi helye

A_i és B_j az i -edik illetve j -edik rezgési összetevő amplitudója

ω_i és ω_j a rezgési összetevők körfrekvenciája

φ_i és φ_j a rezgési összetevők fáziseltolása.

A (9.2.) összefüggésben

$$(9.3.) \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

ahol T a rezgés periódusideje, két sinuszos hullám csúcsa közötti időtávolság másodpercben. A T periódusidő ismeretében a rezgések frekvenciája:

$$(9.4.) \quad f = 1/T$$

A (9.2.) összefüggés feltételezi, hogy a robbantás által keltett rezgések több rezgésből állnak össze, azaz a rezgéseknek spektruma van. Meghatározott frekvenciához meghatározhatók A_i és B_j értékei és ezek a frekvencia függvényében diszkrét értékeket vesznek fel. Ez azonban általában csak a mesterségesen keltett (nem robbantástól származó) rezgések esetén van így, a robbantásból származó szeizmikus hullámok esetén a rezgések frekvenciája az időben változik, így a spektrum is folyamatos függvény. Ennek oka, hogy a robbantással keltett hullámok időben is csillapodó hullámok, melynek következménye, hogy a rezgések frekvenciája folyamatosan változik, általában csökken. A műszeres méréseknél felvett szeizmogramok esetén így a rezgések frekvenciájának meghatározása általában nem teljes, csupán az első, vagy a legnagyobb rezgési hullámra szokás a jellemző frekvenciát megadni.

Mint a mechanikából ismert a kitérés ismeretében a sebesség az út idő szerinti osztásából (illetve ennek az idő szerinti differenciálásával) meghatározható, és újabb osztással pedig ugyanígy a gyorsulás. Ugyan-így meghatározható a rezgési kitérésből a rezgési sebesség és a rezgési gyorsulás. Ezek matematikai alakja teljesen hasonló lesz, mint a (9.2.) lakú összefüggés. A robbantástechnikában a rezgési sebesség meghatározása fontos szerepet kap, mivel az

$$(9.5.) \quad E_{sz} = \frac{1}{2} mv^2$$

kifejezés szerint a szeizmikus energia nagyságát határozhatjuk meg ha v helyére a rezgési sebesség nagyságát helyettesítjük. Ez az energia az építmények tönkremenetelét, illetve károsodását indokolhatja.

A (9.2.) összefüggésből, továbbá a robbantási hullámok spektrumára elmondottak alapján, azonnal látszik, hogy a (9.5.) összefüggés alapján a szeizmikus energia pontos meghatározása eléggé bonyolult és időrabló felsőbb matematikai számításokat igényel, ezért a gyakorlatban általában megelégednek azzal, hogy a rezgési sebesség csúcsebességét határozzák meg, és ez alapján következtetnek a lehetséges kárhatásokra.

Több műszeresen ellenőrzött robbantást elvégezve (szeizmogramot felvéve) meghatározható egy bányára, vagy egy területre jellemző összefüggés, melynek általános alakja:

$$(9.6.) \quad v = k \left(\frac{\sqrt{Q}}{l} \right)^n$$

ahol v a mm/s egységben kifejezett rezgési sebesség legnagyobb értéke,

Q a felrobbantott töltet kg egységben

l a mérési hely és a robbantás helye közötti távolság m-ben

k a közetre és terjedési viszonyokra jellemző

állandó, melynek dimenziója: mm/s*m/√kg,

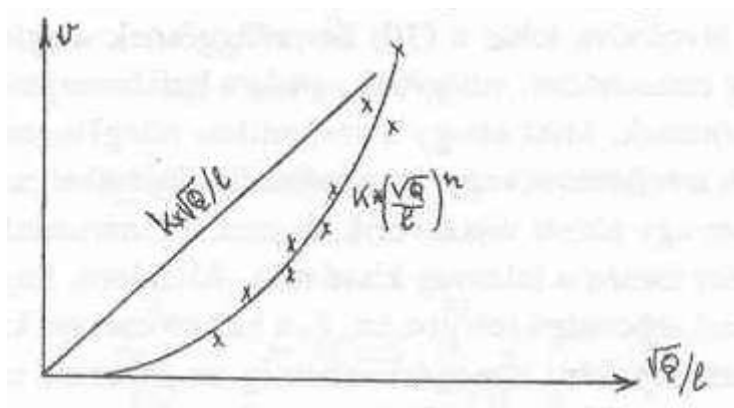
n dimenzió nélküli szám, melyet a k együtthatóval együtt kísérletileg kell meghatározni.

Amennyiben a (9.6.) összefüggésben $n=1$ értéket választunk, úgy az ÁRBSz által javasolt, a szeizmikus hatások becslésére vonatkozó Koch képlethez jutunk:

$$(9.7.) \quad v = k \cdot \frac{\sqrt{Q}}{l}$$

Ebben a képletben a k értékét az ÁRBSz előírászerűen meghatározza. Amennyiben egy bányában kellő számú (legalább öt) műszeres rezgési sebesség meghatározással bírunk, ezeket ábrázolva mód nyílik k kísérleti meghatározására a (9.7.) képlet szerint, mely általában kisebb, mint az ÁRBSz által javasolt konstans. A k így történő meghatározásához a (9.6.) és a (9.7.) képletek szerinti ábrázolás szükséges.

Ha a v rezgési sebességet a $\sqrt{Q}/l$ értékek függvényében ábrázoljuk, úgy a 9.2. ábrának megfelelő görbét kapjuk, ahol a mért értékeket x -szel jelöltük. Az ábrán a (9.7.) összefüggést ekkor úgy kell ábrázolni, hogy minden mérési pont az egyenes alá essen. Ennek megfelelően az így felvett $v = \sqrt{Q}/l$ képlet biztonsági



9.2. ábra

A (9.6.) és a (9.7.) összefüggések ábrázolása k értékének meghatározásához.

képletté vált, mivel az összes ténylegesen keletkező rezgési sebesség kisebb lesz, mint a (9.7.) képlet szerint számított érték. Az így meghatározott k érték azonban csak arra a bányára vonatkozik, ahol a mérések készültek, és csak arra a robbantási technológiára, melyet a bányában a mérések esetén követett. robbantási technológia változtatás esetén a mért eredmények változhatnak, így k értéke is változhat.

9.2.1. A még megengedett rezgési sebesség

Az ÁRBSz előírásai alapján a robbantásokat úgy kell tervezni, hogy a keletkező szeizmikus hullámok a robbantás környezetében lévő építményeket, műtárgyakat ne károsítsa. A szeizmikus hatásokat nem kell azonban vizsgálni, ha az építményekre jutó rezgési sebesség a számítások alapján legfeljebb 1 mm/s, azaz az L távolságon belül nincs építmény. Az L szeizmikus biztonsági távolság számítására a képlet a következő:

$$(9.8.) \quad L = k \cdot \sqrt{Q}$$

Ha ezen a távolságon belül építmények, műtárgyak vannak akkor a (9.7.) képlettel meg kell határozni az építményre, műtárgyra jutó rezgési sebességet. Az így kiszámított rezgési sebesség nem lehet nagyobb, mint azt az ide vonatkozó táblázat tartalmazza. Ez a még megengedhető legnagyobb rezgési sebesség.

Különleges robbantások esetén (építmények, épületmaradványok, kis töltetekkel végzett egyéb robbantások) az ÁRBSz a Q töltetnagyság kiszámítására különleges számítási lehetőséget ad. Ugyancsak lehetőség van a még megengedhető legnagyobb rezgési sebesség növelésére, ha a rezgések frekvenciája a táblázatban megadott értékeket meghaladhatja.

9.2.2. A szeizmikus károk és azok valószínűségének számíthatósága

A szeizmikus rezgések kárhatásaira vonatkozó előírások, szabványok és szabályzatok (hazai és külföldi) kitérnek arra, hogy a károk kialakulásának valószínűsége van. Ezek általában kimondják, hogy ha a rezgések a még megengedett legnagyobb rezgési sebességet nem haladják meg, akkor a kárhatás valószínűsége olyan kicsi, hogy a kár gyakorlatilag nem következik be. Ha a rezgési sebesség ezt az értéket meghaladja a kár valószínűsége nő, mely növekedés annál nagyobb, minél nagyobb a rezgési sebesség eltérése a még megengedett legnagyobb rezgési sebességtől.

A Bányászati Kutató Intézetben végzett irodalmi és egyéb kutatások arra utaltak, hogy a rezgések által okozott károk valószínűsége a rezgési sebesség között logaritmikus összefüggés áll fenn. Sikerült kidolgozni olyan számítási eljárást, melynek segítségével a lehetséges legnagyobb kár kiszámítható az adott rezgési sebességhez. Sajnos az összefüggés ellenőrzésére még nem áll kellő számú megfigyelés rendelkezésre, ezért ebben az irányban további kutatási munkák látszanak szükségesnek.

9.2.3. Perek és próbaperek a szeizmikus rezgések kárhatásaival kapcsolatban

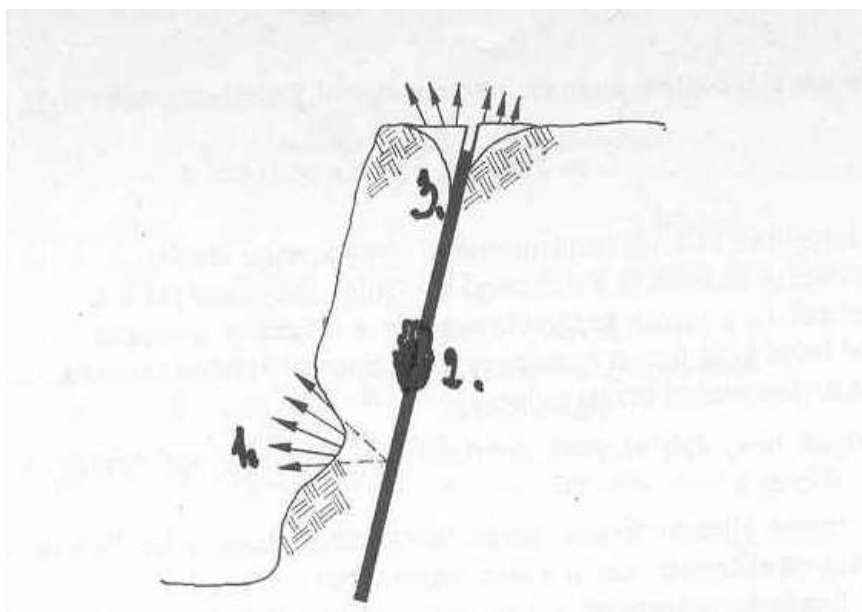
Azoknál a bányáknál, ahol a település közel van a robbantási helyekhez és a robbantások szeizmikus hatásait érezni lehet, az ingatlanokon keletkezett károkat előbb utóbb összefüggésbe hozzák a robbantások hatásaival. A vélt károkozás miatt először általában egy, vagy kis számú tulajdonos kártérítési pert kísérel meg. Ezt az első pert próbapernek is lehet tekinteni. Amennyiben a robbantásokat végző bánya szakértője nem mindenre kiterjedő szakvéleményt nyújt be a bíróság felé, olyan bírósági ítélet születhet, mely indokolatlanul nagy költségtérítést jelenthet a vélt károsultnak. A lakóság körében elterjedő hír hatására már többen is hasonló perre szánhatják el magukat. A bíróság ilyen pereknél a „próbapert” precedens értékűnek tekintheti, és további jogtalan, vagy igazságtalan kártérítéseket ítélhet meg. Ezek elkerülésére a bányának igyekezni kell olyan szakértői véleményt beszerezni és a bíróság elé terjesztetni, mely alapján a bíróság igazságos döntést hozhat.

9.3. A veszélyes mértékű közetszórás

A robbantás helyétől és a robbantási technológiától is függhet a veszélyes mértékű közetszórás. Ezeket külön-külön tárgyaljuk keletkezési helyüktől függően.

9.3.1. Külfejtéses nagyrobbantások esetén keletkező veszélyes mértékű közetszórás

A veszélyes mértékű közetszórás létrejöttének okát egyetlen kifejezéssel lehet összefoglalni: a helyi túltöltés. Ennek három típusa van, melyet a 9.3. ábrán szemlélhetünk. Mindhárom eset ellen hatásosan lehet védekezni.



9.3. ábra

A helyi túltöltés három típusa külfejtéses nagyrobbantásoknál

Az 1. számmal jelzett esetben a helytelenül megválasztott előtét esetével szembesülünk. Ez ellen a hiba ellen a falbeméréssel felvett profilt követő lyuktelepítés tervezés a védelem.

A 2. esetben a kaverna teletöltése a veszélyforrás. Ez ellen úgy védekezhetünk, ha a fúrómesterrel fúrási adatlapot vetetünk fel, melyen ez esetben jeleznie kellett, hogy a fúrószár esett, vagy porkimaradást tapasztalt. Az észlelt kaverna esetén a töltet megszakítható és a kaverna valamilyen inert anyaggal, például közettörmelékkel feltölthető, vagy feltételezhetően kisebb kaverna esetén a kavernát csőtöltettel is át lehet tölteni.

A harmadik eset a töltés közben elkövetett figyelmetlenségből származik: a robbantómester a fojtás hosszát jelentősen lerövidítette azzal, hogy a töltetet figyelmetlensége miatt „felhúzta”. A javasolt védekezés ez ellen a hiba ellen: a

vétkes robbantómestert utasítani kell a felhúzott töltetrész eltávolítására, mely olyan kényelmetlen munka, hogy feltehetően többször nem fogja elkövetni.

Mindhárom esetben a robbantási gázok a közet túlságosan gyors meg-bontása miatt a már szétnyílt repedések miatt nagy sebességgel ki tudnak törni, és a kitörés mentén kisebb nagyobb kőzetdarabokat magukkal tudnak sodorni. Az így elsodort kőzetdarabok nagysága gyermekfej nagyságú is lehet, a szórás távolsága pedig az egy kilométert is meghaladhatja.

A kőbányászati batározások esetére is érvényes, hogy veszélyes mértékű szórást a túltöltés okozhat. Erre vonatkozóan az általában az érvényes, hogy fűrt lyukkal történő batározás esetén a töltet nagysága $0,1 \text{ kg/m}^3$, míg rátett töltet esetén 1 kg/m^3 .

9.3.2. Mélybányászatban előforduló túlzott kivetés

A mélybányászatban elsősorban a vágathajtásnál előforduló túlzott kivetés lehet veszélyes, vagy kellemetlen utómunkákat kívánó jelenség.. Ennek oka elsősorban a rosszul elkészített kivetés, ennek túltöltése, vagy a rosszul megválasztott időzítés. A vágathajtás a betörés elkészítésével egy krátert készítünk a kőzetben. Ennek a kráternek az elkészítésekor az időzítést úgy kell megválasztani, hogy a különböző fokozatokkal robbanó töltetekkel megbontott kőzet rész legalább részben el tudjon távolodni, aza a kivetés meginduljon. Ennek feltétele, hogy az egyes fokozatok közötti időtávolság legalább 100 ms legyen.

A jól elkészített betörés után egy hengeres szabadfelület keletkezik, melynek belső falával a koszorú lyukak párhuzamosak, így már nagy szabadfelület áll a robbantólyukak előtt. A koszorúlyukak időzítésére szintén biztosítani kell, hogy az egyes fokozatok között olyan időtávolság legyen, hogy a megbontott kőzet kivetődjön, azaz legalább 100 ms. Előnyösen alkalmazható ezeknél a robbantásoknál a félmásodperces gyutacsok.

A mélybányászatban előforduló fejtéseknél a robbantások többnyire hasonlíthatók a külfejtésekben végzett nagyrobbantáshoz amennyiben a jövesztő robbantólyukak egy korábban kihajtott nagy üreg falával párhuzamosak (mint az például az 5.7. ábrán látható), így az ezektől származó nem kívánt túlzott kivetéssel nem kell foglalkozni, mert a külfejtéses technológiákra hasonlítanak.

9.3.3. Védekezés a közetszórás ellen az egyedi robbantásoknál

Mivel az egyedi robbantások többnyire lakott településen belül, vagy annak közvetlen közelében történnek, szinte egyetlen esetben sem lehet az ÁRBSz által előírt szórásveszélyre vonatkozó előírásokat betartani. Ezért a robbantási engedélyben a felmentést ez alól meg kell kérni, illetve a robbantási engedély iránti kérelem műszaki leírásában a védő-takarás leírásával bizonyítani kell, hogy az a biztonsági távolság csökkentésére alkalmas és a megállapított

távolságon kívül veszélyes mértékű közetszórás nem lesz tapasztalható. Az ilyen feltételek a takaróanyagok helyes megválasztásától és a robbantásra kerülő anyagok minőségétől (tégla fal, beton építmény, vasvázas torony, stb.) függnék. különösen gondos védelmi takarást igényelhetnek a beton és az acélvázas építmények.

9.4. Víz alatti robbantások esetére vonatkozó biztonsági távolságok

A víz alatt végzett robbantások esetén általában veszélyes mértékű közetszórás nem keletkezik, mivel maga a víz kiváló védőtakarást nyújt.

Jelentős veszélyforrást jelent viszont a robbantáskor keletkező lökés-hullám, mely a vízben szinte csillapodás nélkül terjedhet tova. A csillapodás nagyjából csak attól származik, hogy a lökeshullám egyre nagyobb felületen terjed szét, melyet korlátozhat az, hogy a meder és a part milyen geometriával bír. Az elmaradó csillapodás miatt személyek védelmére esetlegesen egy folyóban végzett robbantás esetén kilométeres távolságokat is ki kell üríteni például állatok és személyek védelmére.

A lökeshullám kis csillapodása miatt külön figyelmet kíván a folyópart-tól terjedő szeizmikus hullám. Ilyen robbantásoknál a szeizmikus hullám anomális viselkedésére kell számítani. Mivel a lökeshullám a partig szinte csillapodás nélkül terjedhet, ott felvehet egy viszonylag magas ér-téket, és a szeizmikus hullám erről az értékről csökken a már talajokon megszokott törvényszerűségek szerint.

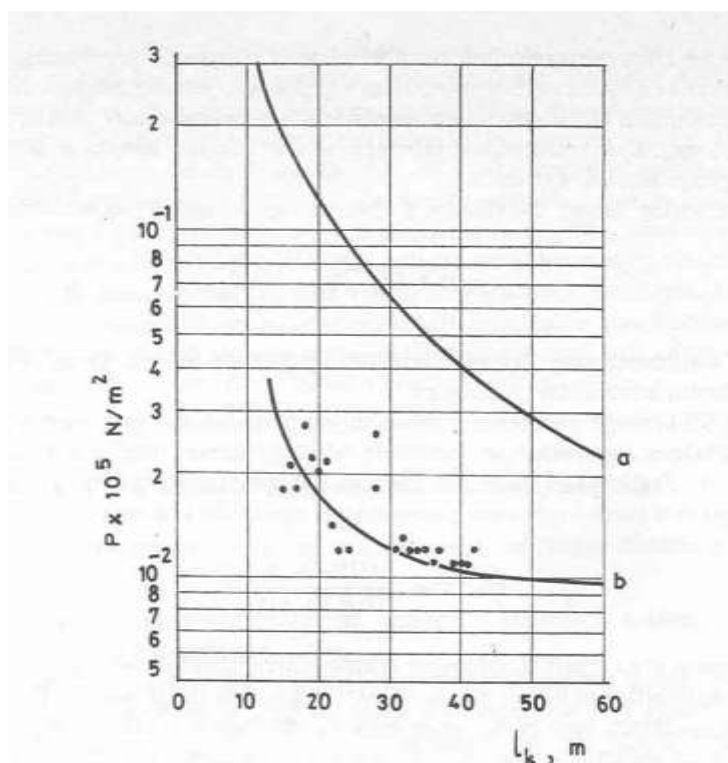
Ezeknél a robbantásoknál problémát okozhatnak a műtárgyakra (zsilip, falazott mederszél, hídpillér, stb.) ható lökeshullám nagy nyomása. Ennek a nyomásnak a kivédésére kiváló reflektáló felületet képezhet egy buborék függöny, melyet a műtárgy alsó szélére elhelyezett perforált csőbe vezetett sűrített levegő szolgáltat.

9.5. A robbantások és a robbanások által keletkező léglökés elleni védekezés

A rátett töltetek esetén a lökés hullám által keltett és a felületre ható nyomás a károsító hatás. A p nyomás értékét a 4.3. képlettel lehet meghatározni. Rátett töltetek esetére az ÁRBSz tartalmazza a különböző felületek estére a távolság függvényében a még felrobbantható robbanóanyag mennyiséget.

A rátett töltetek károsító hatásainál sokkal jelentősebb azoknak a véletlen szerű robbanásoknak a kárhatásai ellen való védekezés, amelyek robbanóanyag gyártás és raktározás közben lépnek fel. Az ilyen jellegű robbanásoknál keletkező lökeshullám, és a lökeshullám útjában álló akadály vizsgálatára a BKI-ben történtek kísérletek. Ezek részletes ismertetése helyett csupán megjegyezzük, hogy a lökeshullám útjába eső akadály annál nagyobb mértékű nyomásesést képes létrehozni, minél nagyobb roncsolást képes az akadályon létrehozni. A 9.4. ábrán a sík felületen felvett léglökés nagyságát, és ugyanezen területen de a robbanáshoz közel eső akadály hatására lecsökkenő nyomás tanulmányozható. Ezen kísérletek eredményeként születet az a javaslat, hogy a

föld alá süllyesztett de külszínre nyíló robbanóanyag raktárak elé beton támfalat célszerű elhelyezni. Ugyanezen kísérletek rámutattak az



9.4. ábra

Sík talajon szabadon robbanó töltet által keletkező lökéshullám és ennek nyomásának változása akadály esetén

egyes tárolók között létrehozott földsáncok, valamint a robbanóanyag raktárak belső elrendezésének jelentőségére.

Ezen védelmi feladatok fontossága miatt a robbanóanyag gyárakban végzett munkákra, azok berendezéseinek elhelyezésére külön szabályok érvényesek. Ugyancsak külön szabályzatot alkottak a robbanóanyag raktárak létesítését és működését felügyelőik. A szigorú szabályzatok ellenére sajnálatos, hogy történtek még a közel múltban is olyan robbanások, melyek emberi életet követeltek, és amelyek okait nem sikerült kideríteni.

10. Az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat (ÁRBSz) és a robbantási munkákban résztvevők

Kétségtelen, hogy azoknál a munkáknál amelyeknél személyek közvetlenül a robbanóanyaggal kapcsolatba kerülnek az egyik legveszélyesebb ipari műveletnek kell tekinteni elsősorban azért, mert a művelet nem csupán a munkát végzőre hathat, hanem közvetlen környezetére is. Ennek megfelelően a robbantási munkákra az előírások szigorúak és feltételekhez kötöttek. Ezeket az előírásokat és feltételeket az ÁRBSz tartalmazza mintegy száz oldalnál is nagyobb terjedelmű könyv formájában. Ezeknek az előírásoknak az ismerete a sikeres és biztonságos munka feltétele, melyet a munkavégzőknek be kell tartani, hanem ezeket a munkavégzésben segítő személyekkel is be kell tartatni.

Természetesnek tűnik, hogy az előírások szószerinti és teljes ismerete alig követelhető meg, ezért az előírások időnkénti újraolvasása szinte mindennapi feladatnak tekinthető.

A jó robbantási szakemberek számára az előírások ismerete a minden-napi munka gyakorlatában válik teljessé, azaz törekedni kell arra, hogy a megszerzett biztonsági ismeretek minél előbb rutinná váljanak. Ez azonban nem nélkülözheti azt, hogy a fejlesztési munkák következtében előkerülő új anyagok és eljárások ne legyenek minél előbb ismertek. Különösen gondosan kell felügyelni a még kevés tapasztalattal rendelkező fiatal szakemberek munkáját, mely elsősorban azokra az idősebb szakemberekre vonatkozik, akiknek később a fiatalok a helyükre léphetnek.

11. A könyv írásához felhasznált művek:

Szakkönyvek:

Dr. Bohus G, Horváth L, Papp J.: Ipari Robbantástechnika. Műszaki Kiadó. Bp.1983.

R. Gustafsson: Blasting Technique. Ausztriai Kiadás a Dynamit Nobel Wien kiadásában. 1981.

F. Weichelt: Handbuch der Sprengtechnik. VEB Deutsch. Verl. Grundstoffindustrie. Leipzig. 1965.

H. Holuba: Sprengtechnik. Österreichischer Gewerbeverlag. Wien 1985.

R. Meyer, J. Köhler, A. Homburg: Explosives. Wiley-YCH Verlag G.m.b.H. Weinheim. 2007.

Autoren Kollektiv: Handbuch Sprengtechnik. VEB Deutscher Verl. Grundstoffindustrie. Leipzig. 1975.

Konferencia anyagok és egyéb kiadványok:

Internationale Tagungen für Sprengtechnik. Több évfolyam. WIFI, Linz. a Magyar Bányászati Kohászati Egyesület robbantástechnikai, konferenciái Miskolcon, valamint a Magyar Robbantástechnikai Egyesület (MARE) konferenciái Balatonkenesén,

A szocialista országok által rendezett konferenciák kiadványai, Robbantástechnika több füzeté, mint a MARE kiadványai. Szerkesztő: Dr. Bohus G.

Tartalom jegyzék

Első könyvrész

A matematika és a fizika

A fizika feladata, vizsgálati módszerei és a vizsgálatokhoz igénybevett segéd tudományok

3.

I. fejezet

5.

A matematika mint a fizika segítségével

5.

I.1. A matematika függvények

5.

I.2. A derékszögű háromszögek és a szögfüggvények

6.

I.3. A hatványozás és a gyökvonás, a számok normál alakja

9.

II. rész	12.
Mechanika	12.
II.1. A kitérés és az út	12.
II.2. A sebesség	12.
II.3. A gyorsulás	13.
II.5. A mozgások függetlensége és a vektorok komponensekre bontása a ferde hajítás példája alapján	14.
II.6. A szögelfordulás, a szögsebesség, a szöggyorsulás és a fordulat- szám	15.
III. fejezet	16.
A dinamika	16.
III.1. Az első Newton törvény	16.
III.2. Newton második törvénye	17.
III.4. Az impulzus és Newton negyedik törvénye	17.
III.5. A munka és a teljesítmény	18.
III.6. Az energia	18.
III.7. A surlódás és a közegellenállás	20.
III.8. Az egyszerű gépek, lejtő, csavar, ék, csigasor	20.
IV. fejezet	21.
Hőtan	21.
IV.1. A testek kitágulása hő hatására, a hőmérséklet mérése	21.
IV.2. A hőmennyiség	22.
V. rész	23.
A gáztörvények	23.
V.1. Összefüggés a nyomás és a térfogat között	23.
V.2. Az ideális gázok normál állapota	25.
V.3. Az adiabatikus nyomás változások, a Carnot körfolyamat	25.
V.4. Reverzibilis és irreverzibilis folyamatok, a termodinamika második főtétele	26.
VI. rész	27.
A folyadékok	27.
VI.1. A hidrosztatikus nyomás és Archimedes törvénye	27.
VI.2. Folyadékok áramlása	28.
VII. rész	29.
Szilárd testek	29.
VII.1. Szilárd testek rugalmas viselkedése, nyomó és húzószilárdság	29.
VIII. rész	31.
Rezgések és hullámok	31.
VIII.1. Egy lemeztűző mozgása egyensúlyi helyzete környezetében	31.
VIII.2. Térbeli rezgések, hullámok	33.
VIII.3. A hullámmegyenlet megoldásai	34.
VIII.4. A térbeli hullámok viselkedése két réteg határán	35.
VIII.5. A felületi hullámok	36.
VIII.6. Nagy erejű lökések, lökéshullámok	37.
IX. rész	39.
Optika	39.
IX.1. A plánpárhuzamos lemez és a prizma	39.
IX.2. A lencsék	40.
IX.3. Sík, domború és homorú tükör	41.
X. rész	42.

Elektromosság és mágnesség	42.
X.1. Elektrosztatika	42.
X.2. Az Ohm törvény	43.
X.3. Bonyolultabb elektromos körök számítása, Kirchhoff törvények	44.
X.4. Sorba és párhuzamosan kötött ellenállások eredője	44.
X.5. Az elektromos teljesítmény, munka és energia	45.
X.6. A kondenzátor	46.
X.7. A mágneses tér	48.
X.8. Bekapcsolási jelenségek	48.
X.8. Az indukció	49.
X.9. A váltakozó áram	50.
X.10. A transzformátor	50.
X.11. Az egyenirányítók	51.
X.12. Egyen-váltó feszültség átalakítók	52.
X.13. Feszültség erősítők	52.
X.14. A feszültség mérése	52.
X.15. Az áramerősség mérése	53.
X.16. Kondenzátor és tekercs a váltóáramú körben	54.
X.17. Az ellenállás mérése	54.
XI. rész	55.
Atomfizika	55.
XI.1. A Bohr-féle atom modell	55.
XI.2. Az atomok héjszerkezete és a kiválasztási szabályok	56.
XII. rész	57.
Atommag fizika	57.
XII.1. Az atommag felépítése és bomlása	57.
XII. 2. Az alfa sugárzás és az azt követő gamma sugárzás	58.
XII.3. A béta sugárzás és a neutrínó	59.
XII.4. Mesterséges magátalakítás	59.
XII.5. A maghasadás, vagy fisszió és fúzió	60.
II.Könyvrész	62.
Alapvető kémiai ismeretek	62.
1. A kémiai elemek és a periódusos rendszer	63.
2. A kémiai egyenletek, vegyületek keletkezés és bomlása	67.
3. Savak, lúgok és inert vegyületek	68.
4. A szén vegyületei	69.
5. A vegyületek tapasztalati és szerkezeti képlete	70.
6. A kémiai reakciók sebessége	72.
7. A vegyületek képződési és bomlási hője	72.
8. A vegyületek megjelenési formái, kristályos és amorf anyagok	73.
9. Oldatok, krémek, emulziók	73.
III. Könyvrész	75.
A robbantó ipar	75.
1. Robbanás, égés, fizikai-kémiai robbanás, robbantás	76.
2. A robbanóanyagok	78.
2.1. A robbanóanyagok jellemzői	78.
2.2. A robbanóanyagok vizsgálata	79.
2.2.1. Mintavételezés	79.
2.2.2. A kémiai összetétel vizsgálata	79.
2.2.3. A külalak vizsgálata	79.

2.2.4. A sűrűség vizsgálata	79.
2.2.5. A hőtűrő képesség vizsgálata	80.
2.2.6. A vízállóság vizsgálata	80.
2.2.7. A detonációs sebesség mérése	80.
2.2.8. Az indíthatóság vizsgálata	81.
2.2.9. Hess-próba	81.
2.2.10. Trauzl-próba	82.
2.2.11. A robbanási hő meghatározása	83.
2.2.12. A gáztérfogat és a mérgező gáz tartalom meghatározása	83.
2.2.13. Az ütésérzékenység vizsgálata	83.
2.2.14. A dörzsérzékenység vizsgálata	83.
2.2.15. Az oxigén egyenleg meghatározása	84.
2.2.16. Gyutaccsal nem indítható robbanóanyagok munkavégző képességének vizsgálata	84.
2.3. A robbanóanyagok osztályozása	85.
2.3.1. Primer robbanóanyagok	85.
2.3.1.1. Hexogén	85.
2.3.1.2. Oktogén	85.
2.3.1.3. Ólomazid	86.
2.3.1.4. Nitrocellulóz	86.
2.3.1.5. Nitroglicerín	86.
2.3.1.6. Nitroglikol	86.
2.3.1.7. Nitropenta	87.
2.3.1.8. Trinitrotoluol (TNT)	87.
2.3.1.9. Dinitrotoluol (DNT)	87.
2.3.1.10. Tedilén	88.
2.3.1.11. Ammóniumnitrát	88.
2.3.2. Szekunder robbanóanyagok	88.
2.3.2.1. Dinamitok	88.
2.3.2.2. Lőporok	89.
2.3.2.3. A paxitok	89.
2.3.2.4. Robbanózagok	90.
2.3.2.5. Ammóniumnitrát dieselolaj, vagy fűtőolaj keverékek (ANDO, ANFO)	90.
2.3.2.6. Semtex	91.
2.3.2.7. Emulziós robbanóanyagok	92.
2.3.2.8. Haevy ANFO	93.
2.3.3. Robbanóanyaggal töltött tárgyak	93.
2.3.3.1. Robbanózsínórok	94.
2.3.3.2. Nonel zsinórok	95.
2.3.3.3. Perforátorok és vágó töltetek	95.
2.3.3.4. Jégrobbantó töltetek	98.
2.4. Gyutacsok	98.
2.4.1. Robbanó gyutacs	98.
2.4.2. Villamos gyutacsok	99.
2.4.3. A nonel gyutacsok	100.
2.4.4. Elektronikus gyutacsok	101.
2.4.5. A gyutacsok vizsgálata	101.
3. A robbanás létrehozása, a robbanóanyagok iniciálása és a robbanás fenntartása	102.

3.1. A villamos indítás	103.
3.1. A villamos indítás	103.
3.1.2. A gyutacsok párhuzamos kapcsolása	104.
3.1.3. Vegyes kapcsolás	106.
3.1.4. A robbantóhálózat kialakításának gyakorlata	107.
3.2. A töltetek indítása nonel zsinórral	108.
3.3. Iniciálás elektronikus gyutacsokkal	110.
3.4. Az indító töltet	111.
4. A robbanás hatása a környezetre	112.
4.1. Robbantások szilárd anyagban	112.
4.2. Robbantás folyadékokban	115.
4.3. Robbantás levegőben	115.
5. Robbantási technológiák	116.
5.1. Földalatti robbantási technológiák	116.
5.1.1. Vágathajtás és alagút építés	116.
5.1.2. Robbantásos fejtések mélybányákban	119.
5.1.3. Provokációs robbantások	120.
5.1.4. Kőzetkímélő robbantások, elő- és utóhasítás a vágathajtásnál és az alagút építésben	120.
5.2. Külszíni bányák robbantás technológiái	121.
5.2.1. Nagyrobbantások	122.
5.2. Árkok és mély bevágások robbantása	127.
5.3. A méreten felüli tömbök robbantása, batározás	128.
5.4. Tömbkő fejtés	129.
5.5. Épület -, építmény robbantásos bontása	129.
5.6. Fémek darabolása, acéltornyok döntése	131.
5.7. Robbantásos plattírozás és fémalakítás	131.
6. A robbantómester szerszámai és eszközei	132.
6.1. A hordláda	132.
6.2. A csípőfogó	133.
6.3. A szurkáló	133.
6.4. Töltő pálca	133.
6.5. Az ellenállás mérő műszer (Ohm mérő)	134.
6.6. A robbantógép	134.
6.6.1. Hagyományos robbantógépek	134..
6.6.1.1. Szárazelemekkel feltölthető gépek	135.
6.6.1.2. Dinamó elektromos gépek	136.
6.6.2. Nonel zsinórok indítását szolgáló gépek	136.
6.6.3. Elektronikus gyutacsok indítását szolgáló robbantógép	136.
6.7. Robbantógép ellenőrző műszer	136.
6.8. Szelvényező készülék	136.
6.9. Mélybányászati és alagút építési robbantólyukak számítógépes programmal támogatott fúrása	136.
6.10. A fúrat ellenőrzés műszerei	138.
6.11. A robbantómesteri könyvecske és igazolvány	139.
6.12. Egyéb segédeszközök	140.
7. A robbantási munka előkészítése, elvégzése és befejezése	140.
7.1. Előkészületek a robbantás előtt	140.
7.2. A robbantási munkák feladatai vágathajtásnál és alagút építésnél	141.

7.3. Egyéb jövesztő robbantások a mélybányászatban	144.
7.4. Nagyrobbantások külszíni bányákban	145.
7.4.1. Kötözés villamos gyutacsokkal	147.
7.4.1.1. Tennivalók a robbantás után	147.
7.4.2. Indítás nonel gyutacsokkal	148.
7.4.3. Időzítés elektronikus gyutacsokkal	149.
7.5. Batározás, azaz a méreten felüli tömbök robbantása	149.
7.6. Épület, építmény, építmény maradványok robbantási munkái	150.
7.6.1. A robbantási engedély iránti kérelem	151.
7.6.2. A robbantási engedély elkészítése utáni tennivalók, a robbantás előkészítése és elvégzése	155.
7.7. Mezőgazdasági és erdészeti robbantások	156.
8. Hibás robbantások, megállások és nem kívánt robbantások okai	157.
8.1. A gyutacsok hibái vagy azok kezelésénél elkövetett hibák	157.
8.1.1. A gyutacsok hibájából származó elállások	157.
8.1.2. A gyutacs helytelen elhelyezése az indító töltetben	158.
8.1.3. Kötözési hibák és a söntölődés	158.
8.2. Robbanóanyag és töltési hibák	159.
8.2.1. Indító töltettel indítható robbanóanyagok elállásának kiküszöbölési lehetősége	159.
8.2.2. A robbanóanyagok agyonpréselése	160.
8.2.3. A töltények közötti detonáció átadási távolság hiánya miatti megállások	160.
8.3. Nem kívánt robbanások	161.
8.3.1. Kóboráram veszélyes robbantások	161.
8.3.2. Villamos árammal működtetett (alumínium) kohókban végzett robbantások	161.
8.3.3. Zivatarkor keletkező villámcsapás elleni védekezés	162.
9. A robbantások káros hatásai és a lehetséges védekezések ellenük	163.
9.1. A közetmegbontás	164.
9.2. A robbantások által keltett szeizmikus hullámok	165.
9.2.1. A még megengedett rezgési sebesség	167.
9.2.2. A szeizmikus károk és azok valószínűségének számíthatósága	168.
9.2.3. Perek és próbaperek a szeizmikus rezgések kárhatásaival kapcsolatban	168.
9.3. A veszélyes mértékű közetszórás	169.
9.3.1. Külfejtési nagyrobbantások esetén keletkező veszélyes mértékű közetszórás	170.
9.3.2. Mélybányászatban előforduló túlzott kivetés	170.
9.3.3. Védekezés a közetszórás ellen az egyedi robbantásoknál	170.
9.4. Víz alatti robbantások esetére vonatkozó biztonsági távolságok	171.
9.5. A robbantások és a robbanások által keletkező léglökés elleni védekezés	171.
10. Az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat (ÁRBSz) és a robbantási munkákban résztvevők	172.
11. A könyv írásához felhasznált művek:	173.