

# AUTOMATIKUSAN VEZÉRELT GYÖKEREZTETŐ RENDSZER EGYMÉRETŰ HŐÁRAMLÁS ELVÉNEK ALKALMAZÁSÁVAL\*

KARAI JÁNOS

a műszaki tudományok kandidátusa

LÉNÁRD SÁNDORNÉ és NAGY SÁNDOR

Kertészeti Egyetem, Budapest

## Bevezetés

Az utóbbi évtizedben világszerte elszaporodtak a nagyüzemi termesztésre alkalmas ültetvények. Ezekhez nagy mennyiségű, azonos tulajdonságú szaporítóanyag szükséges. A nagyszámú azonos alany előállítására klón alanyok fás dugványról szaporításával valósítható meg, így a nemesítés során kapott egyedek rövid idő alatt megsokszorozhatók. A szaporítási eljárás lényege, hogy a megfelelő időben az alanyról vágott, előkezelt és gyökereztető közegbe helyezett dugványok számára a melegtalpat biztosítsuk. Ez a gyökérbésozódási zónában esetleg fajtánként más és más, vagy periodikusan változó optimális hőmérsékletet jelent. Külföldi szaklapokban már közöltek optimális gyökérbésozódási hőmérsékleteket, de ezek a fajták eltérő tulajdonságai és a földrajzi fekvésből adódó felvett jellemzők miatt csak részben tekinthetők meghatározónak. Ily módon hazánk klímájának, ill. földrajzi fekvésének megfelelő korrekció szükséges, amelynek elvégzéséhez a szakemberek üzemi kísérletek lefolytatására alkalmas szaporítóberendezést igényelnek. Tanszékünkön eddigi hőtechnikai villamos fűtési és automatizálási tapasztalatainak alapján olyan rendszert sikerült kifejleszteni, amely mind az üzemi, mind a kísérleti igényeket egyaránt kielégíti. A fejlesztés során az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazása olyan értékes tapasztalatokat eredményezett, amelyeket a berendezés ismertetésével szintén érdemes közrebocsátani.

## Agrotechnikai követelmények

A műszaki megoldásnál figyelembe kell venni, hogy a gyökérbésozódási zónájában az adott fajtára jellemző gyökérbésozódási hőmérsékletet kell — lehetőleg  $\pm 1$  C° eltéréssel — a gyökérbésozódási zónában tartani, a dugványok egyéb ökológiai jellemzőit azonban nem szükséges, sőt nem is célszerű változtatni.

Mivel a gyökérbésozódáshoz fény nem szükséges, a melegtalp elhelyezésére pajták, raktárépületek, természetű vagy szaporítóházak — üvegház, fóliasátor — egyaránt figyelembe vehetők.

\* Az MTA 1975. évi pályázatán díjat nyert tanulmány ismertetése.



A melegtalp lehetőleg helyhez kötött legyen, mert ezáltal a beruházási költségek és a meghibásodási lehetőségek is csökkenthetők. Követelmény továbbá, hogy a rendszer alkalmas legyen különböző szaporítóközeg elhelyezésére és a be-ki szállítást a technikai megoldás ne nehezítse.

Fontos továbbá a tisztíthatóság és sterilitás lehetőségének fenntartása, valamint a rendszer hőstabilitásának megőrzése, azért, hogy a szaporítás folyamán mind a közeg, mind a szaporítótér hőmérséklete független legyen a külső levegő hőmérsékletétől, valamint a sugárzástól.

### A műszaki megoldás kiválasztása

A követelményeket kielégítő rendszernek tehát olyan berendezés felel meg, amelynél a hőleadó közeg a fűtőközegbe ágyazott és a gazdaságosság követelményén kívül automatizálható is.

A számításba jövő megoldások közül (csővezetékben áramoltatandó fűtővíz, betonba ágyazott villamos fűtőkábel) a csőfűtés bár gazdaságos, mégis a hőközpont nagy beruházási igénye és az automatizálhatóság nehézsége miatt kénytelenek voltunk elejteni a fűtőkábeles, ill. a villamos ellenállásos betonlapos fűtéssel szemben. A melegtalp hőteljesítményét az épület burkolatának hőkarakterisztikája függvényében kell meghatározni, a külső klimatikus feltételek alapján. Ehhez a  $m^2$ -enkénti fűtőtéljesítményt számítjuk a mértékadó klimatikus feltételek beálltakor feltételezett stacioner állapotra.

### A $m^2$ -enkénti fűtőtéljesítmény meghatározása

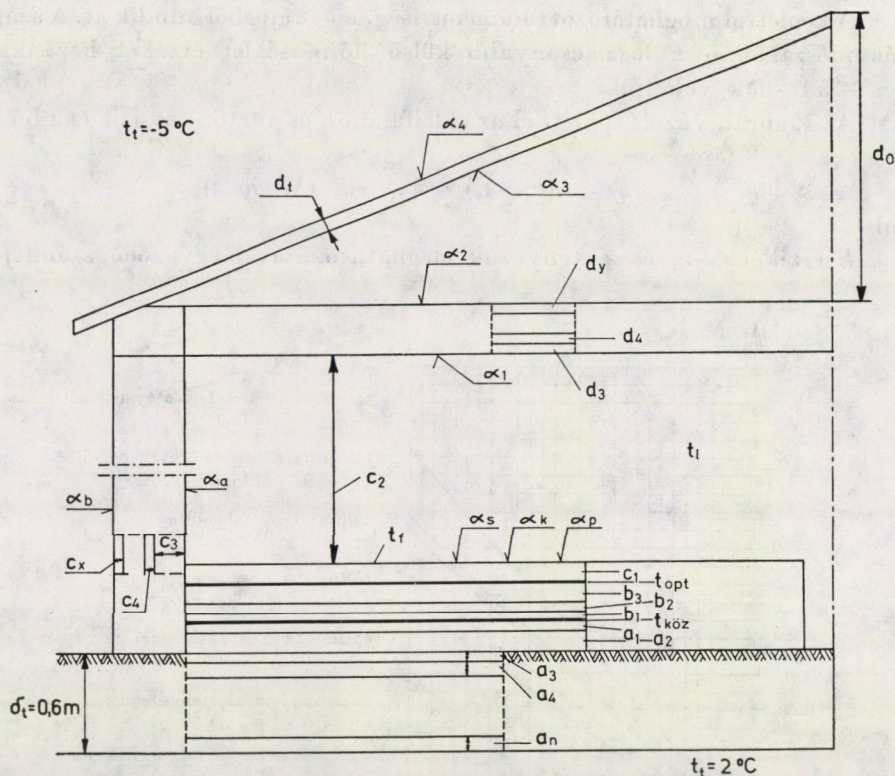
A kialakuló hőtani viszonyok leírásához célszerű az adott rendszer — amelyben a gyökereztető közeget, ill. talpfűtést elhelyezik — extrapolálással lemodellezni. E modellezés — pl. az Alsótekeresi Faiskola területén épített berendezésnél — az 1. ábrán látható mértékig kielégítő ahhoz, hogy jó közelítéssel (Fourrier 1822) a megfelelő hőtechnikai méretezést elvégezhessük.

Az elkészített és modellként felhasználható berendezésnél a  $t$  átlaghőmérsékletű elemi vastagságú hőleadó réteg alatt  $a_1$  vastagságú alap, alatta pedig  $a_2$  vastagságú szigetelő pl. perlitbeton helyezkedik el. E szigetelő réteg alatt kb. 1 m mélységben viszonylag állandó  $t_i = 2\text{ C}^\circ$  talajhőmérséklettel számolhatunk (Eggers, 1975).

Ezekkel a maximális fajlagos hőleadás lefelé:

$$q_l = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\lambda_i} \right]^{-1} (t - t_i) = \alpha_l \cdot \vartheta_l \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (1)$$





1. ábra. Fűtés elrendezés nagy hőcsillapítású épületben

ahol

- $\lambda_i$  — az  $a_i$  réteg hővezetési tényezője ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $\alpha_i$  — a hőátbocsátási tényező lefelé ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $\vartheta_i$  — a réteg túlhőmérséklete (K), esetünkben:  $(t - 2)$

A  $t$  átlaghőmérsékletű hőleadó réteg felett  $b_1$  vastagságú ún. fedőréteg, majd ezt követően a gyökereztető közeg, vagy ládázott anyagnál a láda fenéklemeze  $b_2$  és a benne levő  $b_3 = b_k$  vastagságú szubsztrátum található. Ezzel a hőleadás felfelé:

$$q_f = \left[ \sum_{j=1}^k \frac{b_j}{\lambda_j} \right]^{-1} (t - t_{\text{opt}}) = \alpha_f \cdot \vartheta_f \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2)$$

ahol

- $\lambda_j$  — a  $b_j$  réteg hővezetési tényezője ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $\alpha_f$  — a hőátbocsátási tényező felfelé ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $\vartheta_f$  — a  $b_k$  réteghez képesti túlhőmérséklete a  $t$  hőfokú elemien vastag hőleadó rétegnek (K)



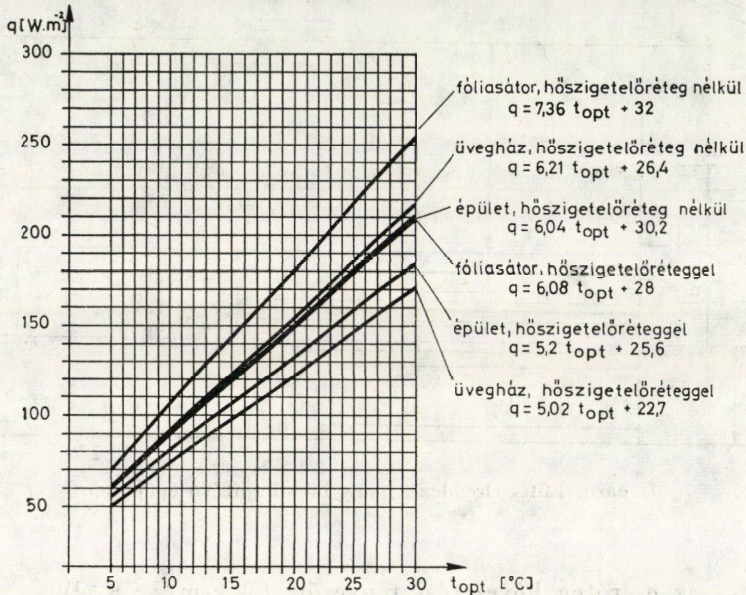
A képlettel meghatározott hőmennyiség, a  $b_k$  rétegből adódik át. A szaporítás időszakában a legalacsonyabb külső hőmérséklet értékét hazánkban  $t_e = -5\text{ }^\circ\text{C}$ -nak vehetjük.

Az 1. ábrán vázolt épületnél az oldalfalakon és a tetőn távozik el a hő ( $q_f$ )

$$q_f = k(t - t_e) = k \cdot \Delta t \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (3)$$

ahol

$k$  értékét a  $\kappa_l$  és  $\kappa_f$  tényezők meghatározásával egyezően számítjuk.



2. ábra. Fűtőteljesítmény-igény alakulása

Így a rendelkezésre álló 1., 2., 3. egyenletek segítségével a három ismeretlen ( $q_l$ ;  $q_f$  és  $t$ ) meghatározható. Az egyes tényezők értékét a konkrét viszonyok között meghatározva a

$$q = q_l + q_f \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (4)$$

összefüggés révén már a  $\text{m}^2$ -enkénti fűtőteljesítmény-igényt meghatározhatjuk.

A 2. ábra a különböző szaporítási és elhelyezési megoldásokhoz szükséges hőteljesítmény értékeit szemlélteti a burkolat hőkarakterisztikájának és a  $t_{\text{opt}}$  figyelembevételével.  $t_{\text{opt}}$  a fűtőhuzal síkjától 10 cm magasságban a szaporító közegben uralkodó hőmérséklet.

A 2. ábra egyenesei szemléletesen alátámasztják a hőszigetelő réteg — az ésszerű energiatakarékosság miatti — szükségszerűségét, valamint fóliasátornál jelentkező energiatöbbletet, ami a fóliának kedvezőtlen sugárzási viszo-



nyaiból következik. Az ábra készítésekor a hővezetési és a hőátadási tényezők értékeit 20–25 C° határok között állandónak vettük. Ez a gyakorlat számára teljesen elfogadható és az alsótekeresi faiskola számára tervezett berendezés tapasztalatai is alátámasztják.

A fűtőréteg m<sup>2</sup>-enkénti teljesítményének, ill. a nagyságának ismeretében meghatározható az összes teljesítmény. Mivel a gyakorlatban a  $\vartheta$  túlhőmérsékletű fűtőréteget fűtőcsövekkel, vagy ellenállás-huzalokkal kell melegíteni a fajlagos fűtőtelteljesítmény kiszámításán kívül a fűtőkábeleknél, ill. a fűtőcsöveknél szokásos paramétereket is tisztázni kell.

Az egyméretű hőáramlás elvének alkalmazásával (Macskásy, 1965) írható;

$$\vartheta_n = v \frac{m \cdot l}{2 \cdot th(0,5 \cdot m \cdot l)} \quad (\text{K}) \quad (5)$$

ahol;

- $l$  — a hőleadók (fűtőcső, fűtőkábel stb.) menettávolsága (m)
- $v_n$  — a réteg átlagos túlhőmérséklete (K)
- $\vartheta$  — a fűtőcsövek (kábel) túlhőmérséklete (K)

$$m = \sqrt{\frac{1}{\frac{\lambda}{\lambda_i} + \frac{\kappa_f \cdot k}{\kappa_f + k}}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (6)$$

melyben

$\lambda$  az  $(a_1 + b_1)$  vastagságú, a hőleadókat magába foglaló réteg hővezetési tényezője ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

A valóságban végbemenő instacioner hőáramlás konkrét megismerése miatt 150 W · m<sup>-2</sup> hőteljesítményű kismintát készítettünk, melynél az alap és fedőréteg  $(a_1 + b_1)$  beton volt, fűtőhálózatként pedig — egyúttal a beton szilárdságát növelő — Ø 6 mm-es acélhuzalokat alkalmaztunk 1,5 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű rézvezetékekkel párhuzamosan kötve.

Termisztorral meghatározva az adott függőleges síkok mentén a fedő betonréteg különböző szintjeiben a hőmérséklet időbeni alakulását, a felfűtési periódusban a 3. ábrán látható görbéket kaptuk.

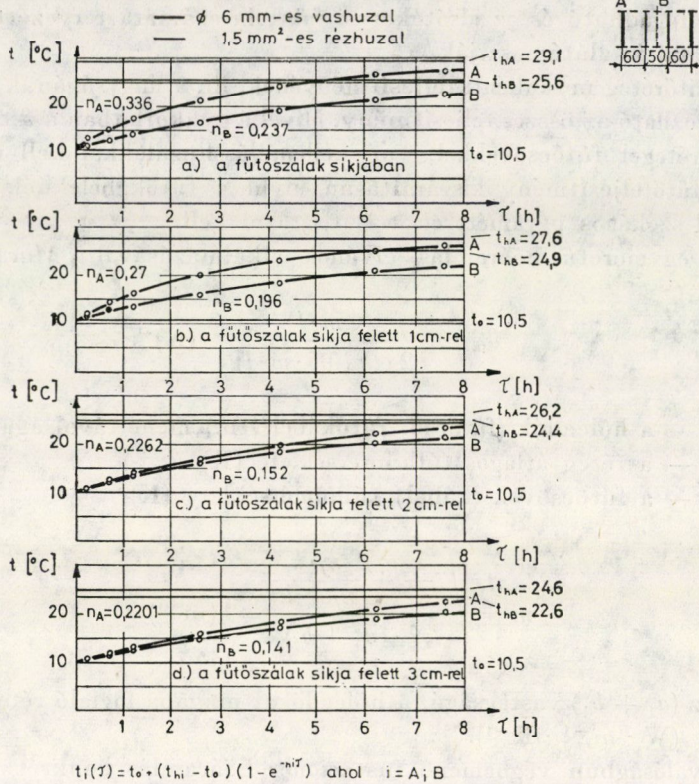
A mérések kiértékelése eredményeképpen a fás dűgványok gyökéreképződési folyamatának befejezésekor szükséges ún. edzési szakaszok programozását elősegítő nomogram készíthető, melyet a 4. ábra szemléltet.

A nomogram egyik tengelyén a  $(t_{\text{opt}} - t_0)$  az adott rétegben elérni kívánt  $(t_{\text{opt}})$  és az induló  $(t_0)$  hőmérséklet különbsége szerepel. A  $(\Delta t + t_{\text{opt}})$  értéke a fűtőrendszer által a külső hőmérséklethez képest elérhető túlhőmérsékletet jelenti a  $t_{\text{opt}}$  fölött. Az  $n$  pedig az adott rétegre jellemző állandó, amely méréssel jól meghatározható.

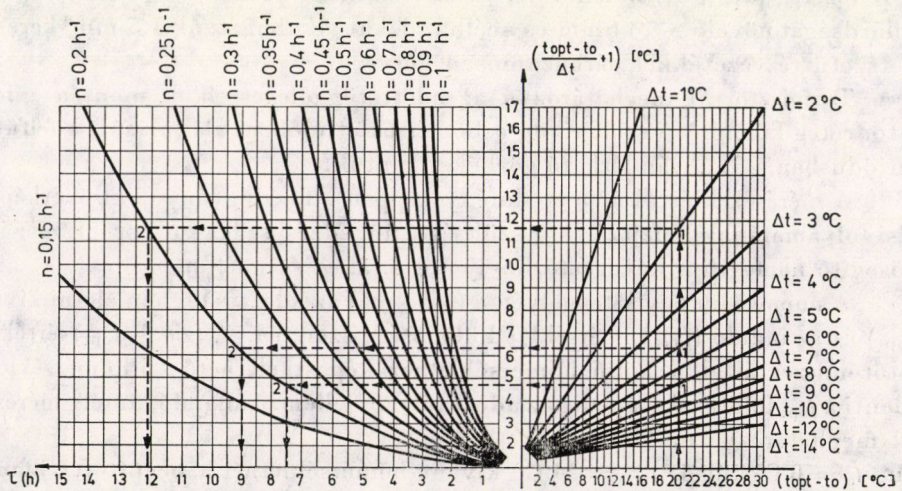
Pl.  $t_e = 0 \text{ C}^\circ$  külső,  $t_{\text{opt}} = 24 \text{ C}^\circ$  kívánt hőmérsékletnél a beépített villamos fűtőtelteljesítmény (nyíl irányában, ha  $t_{\text{opt}} - t_0 = 21 \text{ C}^\circ$ )  $\Delta t = 6 \text{ C}^\circ$  eléréséhez



A különböző fűtőteljesítmények leadására alkalmas fűtőszálak között a betonréteg szintjeiben a hőfok alakulása az idő függvényében a bekapcsolás után



3. ábra. A különböző rétegek felfűtési görbéi



4. ábra. Nomogram a felfűtési idő meghatározására



biztosít hőteljesítményt, amely  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$  időállandójú rétegben 7,5 óras felfűtési periódust jelent. Ha a külső hőmérséklet  $-2 \text{ C}^\circ$ -ra csökken  $\Delta t = 4$ -re esik vissza. Ez esetben a felfűtési idő 9 órára nő, míg  $t_e = -4 \text{ C}^\circ$ -hoz,  $\Delta t = 2$ , amelyhez már 12,2 óra felfűtési szakasz tartozik, ha az egyéb jellemzők értéke állandó marad.

Így a nomogram segítségével a fás dugványok edzésekor aktuális klimatikus jellemzők ismerete alapján a fűtés be-, ill. kikapcsolási időintervallumainak nagysága megállapítható.

### A fűtés villamos méretezése

A villamos méretezéshez a fűtőhálózat eredőellenállását kell meghatározni a  $\text{m}^2$ -enként szükséges fajlagos és az összes villamos teljesítmény ismeretében.

Az összes villamos teljesítmény:

$$P = A \cdot q \quad (\text{W}) \quad (7)$$

ahol

$A$  — a fűtendő felület ( $\text{m}^2$ )

$q$  — a fajlagos hőteljesítmény ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$P$  ismeretében a hálózat transzformátorai kiválaszthatók (névleges teljesítmény, darabszám, fázisszám).

1  $\text{m}^2$  fűtőfelületet tápláló feszültség:

$$u = \frac{U}{a} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (8)$$

ahol

$U$  — a transzformátor szekunder feszültsége (V)

$a$  — a fűtendő felület ( $\text{m}^2$ )

A transzformátorok szekunder tekercsének feszültsége ( $U$ ) a fokozott érintésvédelmi előírásoknak megfelelően 12 V, 24 V, 42 V lehet.

Az 1  $\text{m}^2$  felületen elhelyezett hálózat eredő impedanciája:

$$\bar{Z} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (\text{ohm}) \quad (9)$$

ahol  $R$  a fűtőhálózat ohmos,  $X_L$  az induktív ellenállása.

A fajlagos fűtőtéljesítmény

$$q = u^2 \cdot \frac{1}{R} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (10)$$

Az egyméretű hőáramláson alapuló fűtőhálózatot jó hővezető közegbe (beton) célszerű elhelyezni.



A hálózat lehet

- fűtőkábel
- rézhuzal
- betonacél és rézhuzal kombinációja

Rézhuzalnál vagy fűtőkábelnél a fűtőhálózat impedanciája kb. ugyanannyi, mint a fűtőhálózat ohmos ellenállása, mert az induktív komponens egy, ill. két nagyságrenddel kisebb, mint az ohmos komponens, tehát

$$|\bar{Z}| = R \quad (\text{ohm}) \quad (11)$$

Az 1 m<sup>2</sup>-re jutó fűtőhálózat  $n$  számú 1 méter hosszú azonos értékű elemi ellenállásból áll, amelyek számát a fűtőszálak távolsága:  $s$  szabja meg:

$$n = \frac{1}{s} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (12)$$

A legmegfelelőbb hálózat  $n = 12$  szál esetén jön létre, mivel a hőmérsékleteloszlás  $s = 0,08$  m menettávolságnál optimális.

A fűtőhálózatot a sorba és a párhuzamosan kapcsolt elemi szálak eredője alkotja

$$n = n_1 \cdot n_2 \quad (13)$$

ahol

$n_1$  — a sorba,

$n_2$  — a párhuzamosan kapcsolt elemi szálak száma.

A sorbakapcsolt 1 m-es elemi szálak száma optimum esetén:

$n_1 = \frac{12}{n_2}$ , amely 1, 2, 3, 4, 6, 12 diszkrét értékeket vehet fel. Az eredő ellenállás, tehát a sorba és a párhuzamosan kapcsolt elemi szálak ellenállásaival is felírható:

$$R = R_{\text{elemi}} \cdot \frac{n_1}{n_2} = R_{\text{elemi}} \cdot \frac{n_1^2}{12} \quad (\text{ohm}) \quad (14)$$

Rézhuzal alkalmazásakor a méretezéshez figyelembe kell venni a rézszál hőmérsékletfüggő ellenállás értékét.

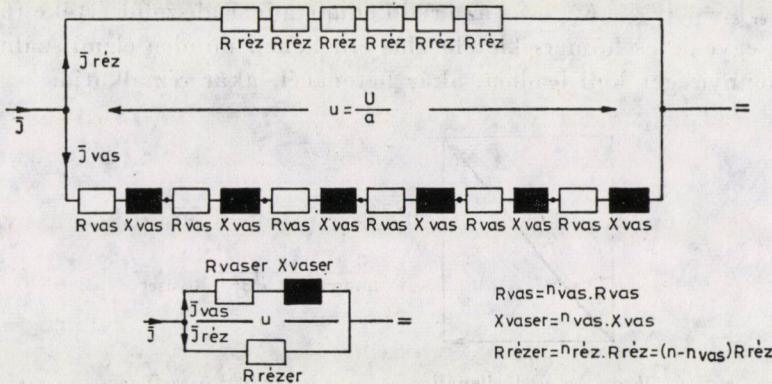
### Fűtőhálózat betonacél és rézhuzal kombinációjából

E kombináció a gazdaságosság követelményein (a gazdaságos fűtésen) túlmenően azért is jelentős, mert a betonacél a mechanikai szilárdságot is növeli. A betonacél alkalmazása fűtőhuzalként, azaz villamos vezetőként a szokástól eltérő, mivel az acélananyagok villamos tulajdonságai nem ideálisak.



A betonacél fajlagos ellenállása az acél összetételétől, kezelésétől függően változó. Méréseink szerint pl. a Ø 6 mm-es betonacélnál ±60% szórást tapasztaltunk. A betonacélszálak az ohmos értéken túl jelentős induktív reaktanciát is képviselnek.

Ezért a betonacélból kialakított fűtőhálózatok nagyobb fázistolást okoznak, és így rontják a táphálózat cos φ-jét. Ez a kedvezőtlen villamos tulajdonsága teszi indokolttá a betonacélnak és a réznek a kombinált felhasználását.



5. ábra. Réz—betonacél fűtőhálózat villamos modellje

Az 1 m<sup>2</sup>-re fűtendő felületre jutó *n* számú 1 m-es elemi ellenállásszálból *n<sub>vas</sub>* a betonacél, *n<sub>réz</sub>* pedig a rézszál:

$$n = n_{vas} + n_{réz} \tag{15}$$

A fűtőhálózat tehát

*n<sub>vas</sub>* elemi betonacélszál sorbakapcsolásával nyert  $\bar{Z}_{vaser}$  és *n<sub>réz</sub>* elemi rézszál sorbakapcsolásával nyert *R<sub>rézer</sub>* impedanciák párhuzamos kapcsolásából áll (5. ábra).

A fűtőhálózat eredő admittanciája

$$\bar{Y}_{er} = \frac{1}{\bar{Z}_{er}} = \bar{Y}_{vaser} + \bar{Y}_{rézer} \quad (\text{ohm}^{-1}) \tag{16}$$

A villamos fűtőteljesítmény a fűtőhálózat által képviselt ohmos ellenálláson, azaz az eredő admittancia (*V*) valós részén jön létre:

$$q = u^2 \cdot V \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \tag{17}$$

ahol

*V* — az eredő admittancia valós része (ohm<sup>-1</sup>)



$$V = \frac{R_{\text{vaser}}}{(R_{\text{vaser}})^2 + (X_{\text{vaser}})^2} + \frac{1}{R_{\text{rézer}}} \quad (\text{ohm}^{-1}) \quad (18)$$

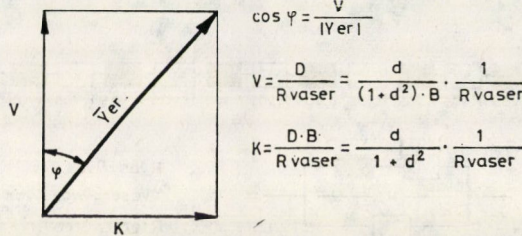
A betonacél fűtőhálózat, mint induktív villamos terhelés fázistolást hoz létre:

$$\cos \varphi = \frac{V}{|\bar{Y}|_{\text{er}}} \quad (19)$$

ahol

$|\bar{Y}|_{\text{er}} = \sqrt{V^2 + K^2}$ , azaz az eredő admittancia abszolút értéke (6. ábra).

Az egyenletes hőmérsékleteloszlás érdekében minden elemi szálnak azonos hőmennyiséget kell leadnia, akár betonacél, akár réz alkotja.



6. ábra. Az eredőellenállás és a  $\cos \varphi$  közötti összefüggés

Az elemi rézszálon felszabaduló villamos teljesítmény:

$$\frac{q}{n} = \left( \frac{u}{n_{\text{réz}}} \right)^2 \cdot \bar{Y}_{\text{réz}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (20)$$

egy elemi betonacélszálon pedig:

$$\frac{q}{n} = \left( \frac{u}{n_{\text{vas}}} \right)^2 \cdot V_1 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (21)$$

mérhető:

ahol

$V_1$  a betonacélszál impedanciájának valós része ( $\text{ohm}^{-1}$ ).

$d$  és  $b$  hányadosok bevezetésével az eredő admittancia valós része kifejezhető a fázistolás ( $\cos \varphi$ ) függvényében.

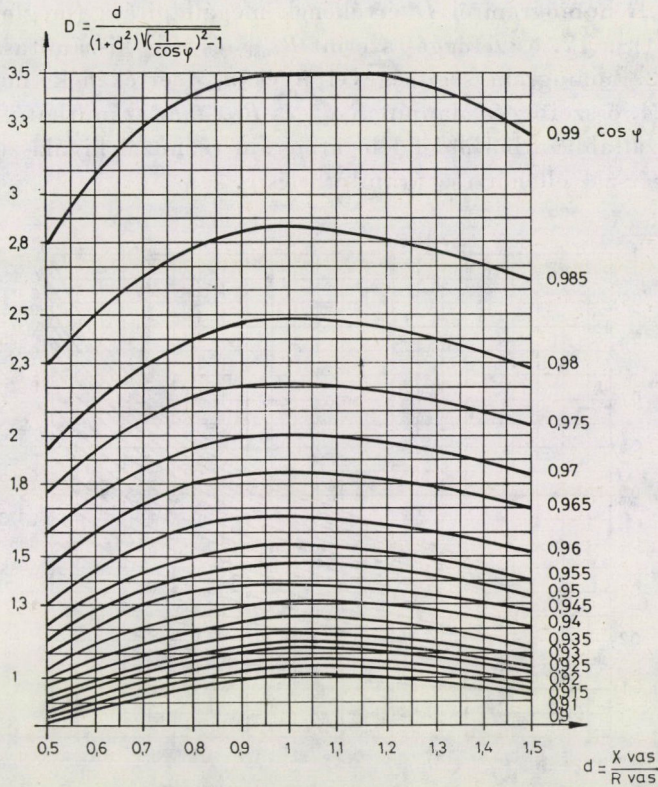
$$d = \frac{X_{\text{vaser}}}{R_{\text{vaser}}} \quad \text{és} \quad b = \frac{R_{\text{rézer}}}{R_{\text{vaser}}} \quad (22)$$

$$V = \frac{D}{R_{\text{vaser}}} \quad (\text{ohm}^{-1})$$

ahol

$$D = \frac{d}{(1 + d^2) \cdot B} \quad \text{és} \quad B = \sqrt{\left( \frac{1}{\cos \varphi} \right)^2 - 1}$$





7. ábra. A fázistényező és az ellenállások viszonya

A viszonyszámok segítségével szerkeszthető nomogram már gyakorlati szakembereknek is lehetőséget ad a fűtőhálózat paramétereinek meghatározására.

A 7. ábra a  $D$  hányados és  $\cos \varphi$  a  $d$  közötti összefüggést ábrázolja.

A 8. ábra a  $\cos \varphi$ , a  $d$  és  $c$  közötti kapcsolatot mutatja.

A nomogramok szerkesztéséhez a már korábban ismertetett viszonyszámokon kívül

$$c = \frac{n_{\text{vas}}}{n} = \frac{B}{d} \quad (23)$$

és a

$$b = \frac{1}{D(1 - c)} \quad (24)$$

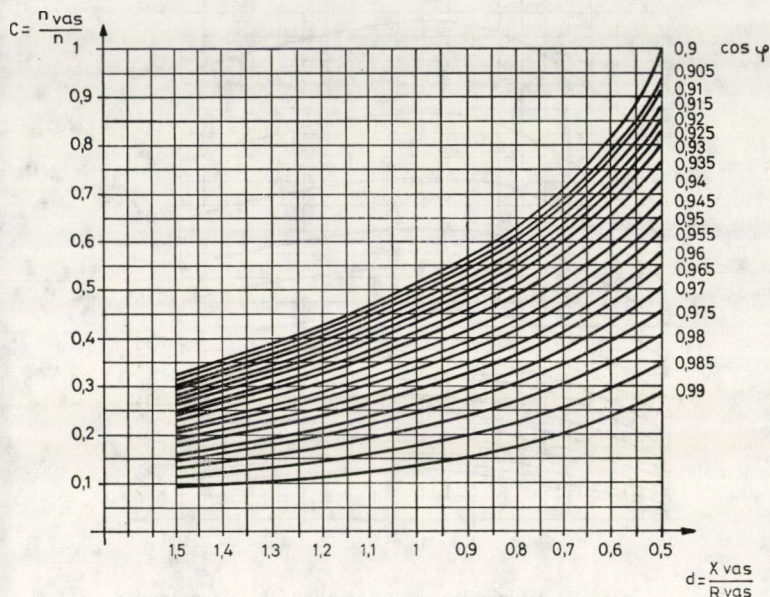
összefüggést használtuk fel.

A nomogramok a kombinált betonacél fűtőhálózat optimális megtervezését könnyítik az alábbi lépések szerint:

1. Betonacélválasztás,  $d$  értékének meghatározása mérésrel, a betonacél hőfokfüggő ellenállásának figyelembevételével.



2. Az 1. nomogramról  $D$  értékének megállapítása (megfelelő, jó  $\cos \varphi$  érték mellett), a 17. összefüggés szerint  $R_{\text{vaser}}$  és  $n_{\text{vas}}$  kiszámítása.
3. A 2. nomogram segítségével  $n$  és  $n_{\text{réz}}$  értékének meghatározása.
4. A 24. összefüggés alapján  $R_{\text{rézer}}$  és  $R_{\text{réz}}$  már számítható.
5. Huzaltáblázatból megfelelő átmérőjű rézhuzal kiválasztása.
6. A rézszál ellenőrzése áramterhelésre.



8. ábra. A huzalszám, a fázistényező és a betonacél impedanciája közötti összefüggés

Ha a rézszálon átfolyó áram nagyobb a megengedettnél, az elemi réz adatait 2 vagy több sorba, ill. párhuzamosan kapcsolt 1 m-es rézszál eredőjeként határozzuk meg, amelyeknek eredő ellenállását  $R_{\text{réz}}$ , egy helyre koncentrálnak vehetjük fel.

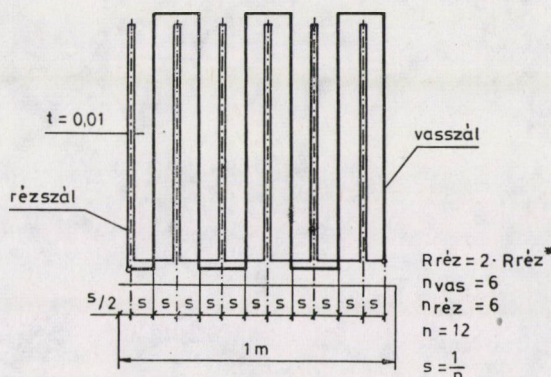
A 9. ábrán vázolt hálózatot  $n = 12$  elemi szál alkotja;  $n_{\text{vas}} = 6$  és  $n_{\text{réz}} = 6$ . Az ábrán egy elemi rézszálat két egyhelyre koncentrált sorbakapcsolt 1 m-es rézszál alkot.

### A fűtés szabályozása

A villamos fűtési mód előnye többek között a könnyű szabályozhatóság. A gyökérzóna hőmérsékletének állandó értéken tartására elegendő területenként egy-egy állásos hőmérsékletszabályozó (termosztát) elhelyezése a gyökérzónában. A termosztát határkapcsolója a területrezt fűtést tápláló transzformátor primer áramkörébe iktatott mágneskapcsoló gerjesztő áramkörét működteti. A beállított hőmérséklet elérésekor a villamos fűtést kikapcsolja, majd bekapcsolja.



A kétállású szabályozás — jellegénél fogva — a kívánt hőmérsékletet két állandó hőmérsékletérték közötti állandó lengéssel biztosítja. Ha a termosztát kapcsolási rése  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , akkor  $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál ki, majd  $22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál vissza-kapcsol, de a gyökérzóna hőmérséklete ennél valamivel nagyobb határok között ingadozik (kb.  $22\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$  között).



9. ábra. A fűtőhálózat huzalozási terve

A rézhuzalból és a betonacélból kialakított kombinált fűtőrendszerrel a gyorsító, termikus visszacsatolás magából a fűtőhálózatból ered. Mivel lehűléskor (kikapcsolás után) a betonacél és a rézszál ellenállása csökken (hőfokfüggők), így a visszakapcsolás után intenzívebben, azaz az üzemi áramnál nagyobb árammal képesek fűteni. Ez a kedvező jelenség a szabályozás minőségét javítja.

Az ismertetett állású szabályozásnál pontosabb szabályozóberendezés alkalmazása sem gazdaságossági, sem biológiai szempontból nem előnyös.

### Összefoglalás

Klón alanyok fásdugványról csak meghatározott klímafeltételek között szaporíthatók. A feltételek egyik legfontosabbika a fűtés. Állandó és szabályozható gyökérzóna hőmérséklet kielégítése mellett ui. a fűtőhálózat beruházási és üzemi költségeit is minimálisra kell szorítani.

Fűtőrétegként a betonba ágyazott egyméretű hőáramlás elvén méretezhető betonacél hőleadókat javasoljuk, rézhuzallal kombinált kivitelezésben. Ennél az ohmos ellenállások helyes megválasztásával kiküszöbölhető a betonacél káros induktivitása és ezáltal a fázistényező is megfelelő értéken tartható.

Az elméleti összefüggések alapján közzétett nomogramok segítségével a fűtés tervezése viszonylag egyszerűen és gyorsan elvégezhető.

Egyszerűsége és kiváló hőtechnikai tulajdonságai miatt a fűtési rendszer nagyobb mértékű elterjedése várható.