

Reeks XVII 00-1-1968

DE NATUURLIJKE LUCHTCIRCULATIE IN ONDERGRONDSE KALKSTEENGROEVEN IN ZUID-LIMBURG

door

A. van Wijngaarden

RIVON-Zeist
(RIVON-mededeling no. 258)

- A. Inleiding
- B. De circulatie in horizontale stelsels
- C. De circulatie in stijgende stelsels
- D. De circulatie in dalende stelsels
- E. De invloed van de ganghelling op het kenterpunt
- F. De circulatie in gecompliceerde stelsels
- G. Voorbeelden
- H. De condensatiezône
- I. Het beheer van de groeve
- J. Summary
- K. Literatuur

A. Inleiding

Tot voor kort werd bij de beschouwing van het klimaat van de ondergrondse kalksteengroeven in Zuid-Limburg vaak uitgegaan van het door *Jeannel* (1926) opgestelde schema, onder meer door *Van Nieuwenhoven* (1956) (fig. no. 1).

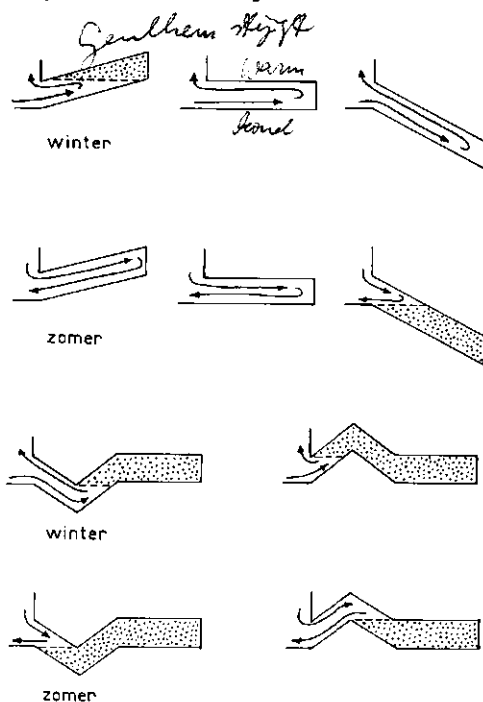
Bij een dalende of horizontale groeve met één ingang zou 's winters de relatief koude en dus zwaardere buitenlucht langs de bodem omlaag en naar binnen stromen en de warmere, lichtere lucht langs het plafond ontsnappen. De gehele groeve zou op den duur met koude lucht gevuld worden.

In een stijgende groeve zou de circulatie 's winters tot het ingangsgedebiet beperkt blijven. In het gedeelte waar de bodem van de groeve hoger ligt dan het plafond bij de ingang, zou een warme „bel” blijven hangen.

's Zomers zou er precies het omgekeerde gebeuren en dit soort groeven zou, tenminste een gedeelte van het jaar, *statisch* zijn. Indien dit schema op groeven wordt toegepast met een gangensysteem dat beurtelings stijgt en daalt, dan zou men een „zwanenhalseffect” mogen verwachten.

Indien het ingangsgedebiet sterk oploopt, zodat de bodem van de groeve boven het plafond

fig. n°1 Luchtcirculatie volgens Jeannel (1926)



van de ingang stijgt, dan zou het gehele achterstelsel niet aan de wintercirculatie mogen deelnemen. Bij een groeve met een aanvankelijk sterk dalend ingangsgedebied zou weliswaar een veel groter deel een wintercirculatie vertonen, maar deze zou toch zijn begrenzing vinden in het horizontale vlak tussen het plafond in het laagste deel en de bodem in het stijgende achterdeel, waar dit deze plafondhoogte bereikt.

Voor de zomercirculatie kan weer een analoge redenering worden opgesteld.

In beide gevallen moet men tot de conclusie komen, dat in groeven met een zwanenhals, hetzij stijgend, hetzij dalend, het gedeelte achter de hals het gehele jaar statisch is.

Tijdens het oecologisch onderzoek dat in de laatste jaren door het Dierfysiologisch Laboratorium te Amsterdam en de afdeling Zoölogie van het RIVON in verschillende Zuid-Limburgse groeven werd verricht, bleek het bovengenoemde schema echter in de meeste gevallen niet te voldoen.

Het werd dan ook opgesteld voor natuurlijke grotten, waarin veel grotere niveauverschillen voorkomen, dan in de kalkstengroeven die in principe op één niveau zijn uitgehakt. Zelfs in de meest afgelegen gangen, al dan niet stijgend of dalend, kan een circulatie worden vastgesteld, hetzij met instrumenten, hetzij aan de zwarte stofaanslag, welke karakteristiek is voor het einde van doodlopende gangen.

Uit talloze metingen in zeer verschillende typen van groeven, gedaan in verband met de studie van de winterslaapocologie van vleermuizen, blijkt zich langzamerhand een meer gecompliceerd beeld van de luchtcirculatie te vormen.

In het volgende zal worden getracht deze ervaringen dusdanig te schematiseren dat zij als uitgangspunt voor verder onderzoek kunnen dienen.

Tevens zullen enkele voorlopige richtlijnen worden geformuleerd, t.a.v. het beheren van groeven als reservaat voor overwinterende vleermuizen.

B. De circulatie in horizontale stelsels

Door Roos en Overmeer (1960) zijn in de winter en het voorjaar van 1959 onder meer uitvoerige klimatologische metingen in de groeve de Grote Dolekamer (53)* bij Ryckholt (gem.

* Nummering groeven volgens van Wijngaarden (1967).

Gronsveld) verricht. Deze groeve is 140 m. diep en praktisch horizontaal. Deze metingen toonden aan dat de circulatie in deze groeve wel geheel in het in de inleiding beschreven schema past.

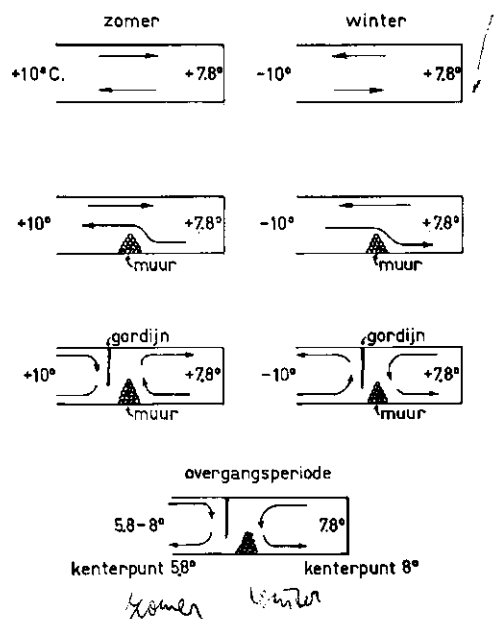
Het omkeren van de circulatie vindt niet alleen plaats bij de overgang van winter naar voorjaar, maar bleek in voorjaar en najaar zelfs zeer scherp te reageren op de dagelijkse gang van de buitentemperatuur, precies zoals dit door Trombé (1952) in grafiekjes is weergegeven.

De snelheid van de circulatie was ook hier duidelijk afhankelijk van de temperatuurverschillen tussen buitenlucht en de gesteentetemperatuur achter in de groeve.

De buitentemperatuur waarbij de circulatie in deze groeve omdraait van winter- naar zomercirculatie v.v. bleek 8°C te bedragen, wat iets meer is dan de luchttemperatuur die, vrijwel constant, achter in de groeve heerst (7.8°C). Deze temperatuur zou men het *kenterpunt* kunnen noemen, in analogie met getijdebewegingen.

In horizontale groeven met een wat grotere omvang zou men verwachten dat deze temperatuur op ongeveer 11°C , de gemiddelde gesteentetemperatuur dieper in de berg, zou liggen. Later zal worden besproken dat door de winterse afkoeling van het gesteente in het ingangsgedebied hier complicaties optreden (F. en C.).

fig. n° 2 Klimaatproeven Groeve de Grote Dolekamer



Het inzicht in het circulatieproces in de groeven werd verdiept door enkele proeven die in de daarop volgende winters eveneens in de groeve de Dolekamer zijn genomen. (Fig. no. 2).

Begin januari 1962 werd op ongeveer 40 meter van de ingang een muur gebouwd van gestapelde stenen van ongeveer 1.50 hoog. In de rest van de winter en de volgende herfst werden de windsnelheden en temperaturen weer gemeten. De grootste veranderingen bleken te hebben plaatsgehad in het ingangsgedeele. Dit was opvallend veel kouder. De laag koude lucht aan de vloer was veel dikker en deze lucht stroomde in een dunne laag met grote snelheid over de top van de muur naar binnen. De laag warme lucht langs het plafond was veel dunner, maar de stroomsnelheid veel hoger geworden. Het geheel maakte de indruk alsof de ingang van de groeve naar binnen was verplaatst, het klimaat in het groevegedeelte vóór de muur was extremer geworden, achter de muur was er niets veranderd.

4 januari 1963 werd er, enkele meters vóór de muur, een van het plafond hangend plastic gordijn aangebracht tot op 1.40 van de grond. Het samenstel gordijn/muur bleek een scheiding in de luchtcirculatie te weeg te brengen, de uitwisseling van lucht onder het gordijn door en over de muur heen, was zeer beperkt. In het gedeelte vóór het gordijn bleek weer een sterke circulatie aanwezig.

Het kenterpunt van het kleine ingangsgedeele lag echter nu bij een lagere temperatuur: 5.8°C .

Achter het gordijn had een vrijwel zelfstandige circulatie plaats: er had zich in de groeve dus een *tweetraps circulatie* ingesteld. Het plastic gordijn fungeerde nu als „buiten” voor het achterste gedeelte en zorgde voor de afkoeling van de lucht. Omdat het kenterpunt van het achterste deel nu op 8°C . lag, was er tussen buitentemperatuur van 5.8 en 8.0° een situatie aanwezig, waarbij in het voorste deel een zomercirculatie en in het achterste deel een wintercirculatie heerste. De extreme temperaturen in het midden van de groeve waren minder hoog en laag geworden; achter in de groeve was alleen de bodemtemperatuur iets hoger dan vóór het experiment. Zelfs na twee seizoenen, in januari 1964, was de plafondtemperatuur helemaal achterin constant gebleven: 7.8°C . Dat deze betrekkelijk lage temperatuur vroeger mede een gevolg is geweest van de sterke wintercirculatie bleek in januari 1966. Hij was toen tot 9.2°C . opgelopen.

Een dergelijke tweetraps-circulatie is later ook aangetroffen in groeven die eerst een dalend gedeelte en daarna een stijgend gedeelte bevatten, zoals het middendeel van de Sibbergroeve (55) (zie F. en G.).

Het omkeren van de circulatie in een groeve bleek zelfs met kunstmatige hulpmiddelen mogelijk. De Kloostergroeve (82) bij Geulhem (gem. Berg en Terblijt) werd op 10 januari 1961 met latten en golfkarton afgesloten. Er bleek zich bij vriezend weer een normale wintercirculatie in te stellen, waarbij de lucht, stromend langs de kartonnen „buitenwand” werd afgekoeld. In het ingangsgedeele werd daarop een grote kachel geplaatst, waarvan de pijp uiter-aard buiten de groeve stak. Deze kachel werd nu enkele etmalen achtereen zo hard mogelijk gestookt. Het gevolg was dat zich in deze iets oplopende groeve van 175 m. diepte, vrijwel direct een zomercirculatie in het ingangsgedeele instelde en dat de luchtcirculatie in de rest van de groeve stagneerde.

Naarmate de temperatuur in het ingangsgedeele steeg, werd een groter gedeelte van de lucht in het gangenstelsel in deze „zomer”-circulatie betrokken.

Het verloop van dit kachelexperiment is uitvoerig in *Parma* (1962) en *Punt en Parma* (1964) beschreven.

C. De circulatie in stijgende stelsels

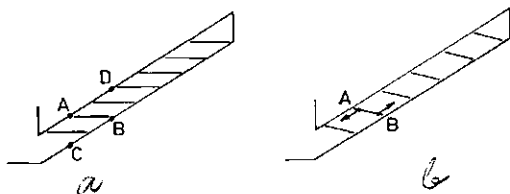
Volkomen in analogie met het stromingsbeeld dat voor horizontale gangsystemen werd beschreven, blijkt echter ook in stijgende gangen in de winter de lucht te circuleren.

Dat men geneigd was deze grotten eerst als „statisch” te beschouwen is misschien een gevolg van de gebruikte apparatuur, namelijk mechanische windmeters. Toch kon hiermede ook in de Kloostergroeve (4 meter stijging op 175 m. ganglengte) tot achterin de circulatie over de bodem worden aangetoond, langs het plafond echter niet. (*Punt en Parma*, 1964).

De ingaande luchtstroom vloeit echter 's winters altijd in een dunnere laag en daarmee dus sneller naar binnen dan de uitgaande stroom langs het plafond naar buiten stroomt.

Circulatie ontstaat doordat verschillende luchtmassa's een verschillende dichtheid hebben. Door de werking van de zwaartekracht streeft een bepaald systeem naar een statische toestand, waarbij de zwaarste lucht onder ligt en de lichtste boven. (fig. no. 3).

fig. n° 3 Isothermen



Omdat het soortelijk gewicht afhankelijk is van de temperatuur, is deze toestand die waarbij de *isothermen* horizontaal lopen. Dit evenwicht kan zich echter niet instellen wanneer er sprake is van differentiële verwarming in die zin, dat de warme bovenlaag ergens voortdurend wordt afgekoeld en/of de koude onderlaag wordt verwarmd. Dit principe van differentiële verwarming is de drijvende kracht van alle convectiestromen, zowel oceaanstromen als winden en niet minder, in het klein, van de luchtcirculatie in de groeven.

In een verticaal stijgend stelsel, wat in Limburg niet voorkomt of waartoe men hoogstens de ruimte bovenaan in dichte aardpijpen zou kunnen rekenen, is er 's winters nauwelijks differentiële opwarming en geen circulatie.

In een stijgend gangenstelsel werkt de differentiële verwarming als volgt:

We gaan uit van de theoretische evenwichtsituatie met horizontale isothermen. De luchtmassa's A en B hebben hier dezelfde temperatuur (fig. 3a). Echter A wordt afgekoeld en B opgewarmd. Afkoeling van A vindt plaats door warmteafgifte aan het gesteente en door warmtestraling -geleiding naar onderliggende luchtlagen. Men zou kunnen stellen: B verkeert in dezelfde omstandigheden als A, t.a.v. het evenwicht met de gesteentetemperatuur en afgifte van stralings- en geleidingswarmte aan onderliggende luchtlagen. Echter voor A is de afstand tot de koudere lucht C kleiner dan voor B, en omgekeerd, voor B is de afstand tot D kleiner dan tot A. De horizontale temperatuurstratificatie wordt doorbroken, de isothermen draaien uit de horizontale stand (fig. 3b) en de zwaartekracht gaat dit compenseren door een convectiestroom. Overal waar men een horizontale temperatuurgradiënt verwacht ($t_B > t_A$) zal zich 's winters een convectiestroom instellen. De Geulhemergroeve vormt een mooi voorbeeld. In deze groeve bereikt de bodem op twee plaatsen, beide op plm. 180 m., één in zuidelijke en de andere in oostelijke richting van de ingang, het

plafondniveau van deze ingang. Op 15 december 1963 (buitentemperatuur -0.6°C .) was de bodemtemperatuur bij genoemde punten al 7.5°C . resp. 8.4°C ., terwijl de luchttemperatuur aan het ingangsplafond 3.2°C . was. (Daan en Wichers, 1965). De geleidelijke opwarming van de bodemlucht van -0.6 tot $7.5/8.4^\circ\text{C}$. en de daarmee gepaard gaande afkoeling van de lucht aan het plafond in omgekeerde richting is hier essentieel voor het ontstaan van de convectiestroming.

Laten we theoretisch de hellingshoek van de gang stijgen, dan zal er een moment komen dat de afstand A-B zó kort wordt, dat de lucht niet meer wordt opgewarmd en t_A gelijk aan t_B zal worden. In een dergelijk geval zal, althans in de winter een warme luchtbel in het stelsel blijven hangen.

D. De circulatie in dalende stelsels

In dalende groeven (Apostelhoevegroeve, (96) Mussenputgroeve, (88) Barakkengroeve, (85) Groeve de Hel, (112) Schenk-groeve, (163) Flessenberggroeve) (143) zou men 's winters een relatief koud achtergebied verwachten.

De circulatie zou in het begin van de winter sterk moeten zijn, omdat dan de relatief warme groevelucht door koude buitenlucht zou worden vervangen. Dit effect zou door aanwezige pijpen nog versterkt moeten worden. Daarna zou men, zeker bij de kleinere groeven, verminderde circulatie mogen verwachten.

In feite blijven al deze groeven en zelfs de zeer kleine, verticale Henkeput, (115a) de gehele winter volop circuleren, bij lagere buitentemperaturen is deze circulatie zelfs duidelijk sterker dan bij hogere.

De temperatuur van de uitgaande lucht hangt hierbij af van de grootte van het gangenstelsel en dus van de circulatie- en opwarmtijd.

Koude buitenlucht blijft naar binnen stromen langs de bodem, wordt geleidelijk opgewarmd en stroomt langs het plafond weer naar buiten.

Iedere dalende groeve zal dus 's winters blijven circuleren totdat de gesteente-temperatuur achterin gelijk zal zijn geworden aan de buitentemperatuur. Dit komt onder de Nederlandse omstandigheden, zelfs in zeer strenge winters (1962/1963) in zeer kleine, verticale groeven zoals de Henkeput, nooit voor. Voor het stromingsbeeld in de zomer in een dalend stelsel kan een analoge redenering worden opgezet als in C bij de wintercirculatie voor stijgende groe-

ven, ook 's zomers blijven dalende stelsels in omgekeerde richting circuleren.

Bij een statische toestand zouden de isothermen weer horizontaal moeten liggen, met een van boven naar onder verlopende temperatuurgradiënt. Bij A vindt echter afkoeling, bij B opwarming plaats, waarna een circulatie zal volgen.

Hoe steiler de groeve, hoe geringer de zomercirculatie. Een loodrechte put blijft 's zomers tot aan de rand gevuld met koude lucht, zoals bijvoorbeeld aan een waterput is te constateren.

E. De invloed van de ganghelling op het kenterpunt

Zoals in B is uiteengezet, bestaat er voor iedere horizontale groeve een bepaalde temperatuur, waarbij de richting van de circulatie omkeert, het kenterpunt.

Deze temperatuur ligt in grote horizontale stelsels iets boven die van het gesteente achter in de groeve (*Overmeer en Roos, 1960*).

Uit C en D laat zich afleiden dat om de wintercirculatie in een stijgende groeve in gang te zetten, een groter temperatuurverschil tussen buitenlucht en gesteente noodzakelijk is, dan in een horizontale groeve. Bij een dalende groeve geldt mutatis mutandis het omgekeerde. Met andere woorden, het ligt in de lijn der verwachtingen dat het kenterpunt bij een stijgende groeve bij een lagere temperatuur ($<10^{\circ}$ C.) en bij een dalende groeve bij een hogere temperatuur ($>10^{\circ}$ C.) zal liggen.

In de sterk stijgende gang tussen de Koepelgroeve (84) en de Geulhemergroeve (87) (1 m. op 8.8 m) bleek bijvoorbeeld het kenterpunt tussen $+1.1^{\circ}$ en 4.3° te liggen (*Daan en Wichers, 1965*).

F. De circulatie in gecompliceerde stelsels

a. Bottle-necks

In een normaal, min of meer boomvormig vertakt gangstelsel, zal de snelheid van de luchtcirculatie afnemen, naarmate men dieper in de groeve doordringt, het totale kaliber van het gangstelsel neemt toe. Achterin is meestal alleen met zeer gevoelige instrumenten iets van de circulatie te constateren.

Heeft een dergelijk stelsel achterin via één gang verbinding met een achterstelsel, is een zgn. *bottle-neck* aanwezig, dan zal hierin een, naar de omstandigheden diep in de groeve ge-

meten, versterkte circulatie aanwezig zijn, waardoor de lucht in het achterstelsel uitwisselt met die in het voorste gedeelte van de groeve.

De richting van deze luchtstromingen past echter geheel in die van een normale luchtcirculatie.

Er bestaan echter aanwijzingen dat in het voorjaar, als het voorste gedeelte van de groeve door de wintercirculatie sterk is afgekoeld, er enige tijd een tweetraps-circulatie kan ontstaan: zomercirculatie in het inganggebied en een voortduren van de wintercirculatie in de rest van de groeve. Heeft het inganggebied weer de normale temperatuur van 10° bereikt, dan heerst in de gehele groeve weer een zomercirculatie.

b. Zwanehalstelsels

Uit de in A en B geschetste gedachtengang zou men kunnen concluderen, dat er in groeven met een zogenaamde zwanehals bepaalde korte perioden zouden moeten zijn zonder circulatie.

Heeft een bepaalde groeve een dalende gang, daarna een stijgende en daarachter een horizontale, dan zal in de dalende gang zich de wintercirculatie instellen bij een temperatuur van $10 + x^{\circ}$. Bij $10 - y^{\circ}$ evenwel is deze circulatie pas in staat het hellende ganggedeelte te „nemen” en de rest van de groeve in de circulatie te betrekken. Over het temperatuurtraject $y-x$ zou het achterste deel dus inderdaad statisch zijn.

Dit blijkt echter niet het geval te zijn. In het zogenaamde middengedeelte van de Sibbergroeve (55) (Pilarenzaal, Putweg) vindt door de sterke circulatie 's winters een belangrijke afkoeling plaats. In dit stijgende gedeelte dat hieraan grenst, bleek lang nadat zich in het middendeel een zomercirculatie had ingesteld, een duidelijke wintercirculatie te blijven bestaan. Het temperatuurverschil tussen het achterste deel van de groeve (11.2°) en het middendeel (bijvoorbeeld 7°) blijkt voldoende om in plaats van de verwachte statische zone hier een duidelijke tweetraps-circulatie te doen ontstaan, die zich tot ver in de zomer voortzet.

Onlangs is gebleken (*N. Daan, 1966*) dat de winterse afkoeling (A in fig. no. 6) dusdanig ver gaat, dat in de perifere stelsels zoals het Bergskesstelsel (B in fig. 6), en zelfs in C waarschijnlijk van een „eeuwige” wintercirculatie sprake zal zijn. Het kenterpunt van de circulatie in het inganggebied is hier, omdat er meestal

duidelijk gescheiden circulatie-systemen bestaan, niet afhankelijk van de zeer hoge ($11^{\circ}\text{C}.$) temperatuur achter in de groeve, maar van die in de Pilarenzaal. Het bleek in oktober 1965 bij $\pm 8^{\circ}\text{C}.$, in januari 1966 bij $\pm 6^{\circ}\text{C}.$ te liggen. Samenvattend kan men zeggen, dat zelfs reeds bij een iets gecompliceerd stelsel men er bij iedere hellende gang, bottle-neck, temperatuursprong van het gesteente, etc. erop verdacht moet zijn, dat de circulatie, zeker in bepaalde tijden van het jaar, gecompliceerd kan zijn.

Bij het beoordelen van de omstandigheden waaronder de vleermuizen bij voorkeur overwinteren, dient men hiermede rekening te houden.

c. Verbindingsgangen

Het is in Zuid-Limburg herhaalde malen gebeurd, dat bij de exploitatie van een bepaalde groeve een verbinding ontstond met een andere. Soms is een dergelijke verbinding niet groter dan het laatste blok kalksteen dat is uitgezaagd, en is er alleen een kruipgat, door de blokbrekers *look* genoemd, ontstaan. Soms is er een complete verbindingsgang gevormd, die voor transport van blokken heeft dienst gedaan.

Door deze verbindingsgangen staat dikwijls een uitgesproken tocht, die een verder inzicht in de luchtcirculatie kan geven. (Verbinding Fallenberggroeve-Bosberggroeve; diverse stelsels van de St. Pietersberg, (2, 8, 13) Valkenburggroeve (68) en de Sibbergroeve, (55) Geulhemergroeve, (87) Koepelgroeve, (84) etc.).

Volgens *Trombé* (1952) is de richting van de luchtstroom afhankelijk van de hoogteligging van de ingangen van de verschillende groeven. In het algemeen ontstaat het volgende beeld (fig. no. 4).

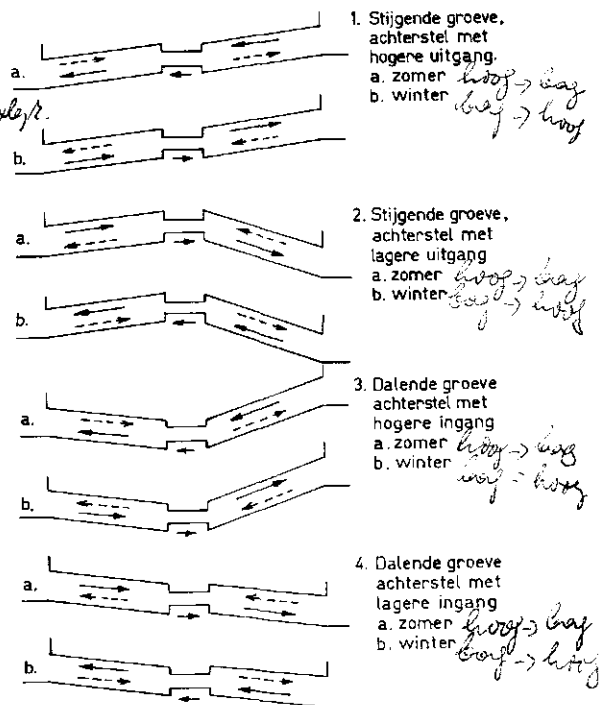
Een stijgende groeve zal via de verbindingsgang 's zomers lucht aangevoerd krijgen en 's winters lucht verliezen als de andere groeve-ingang hoger ligt; hij zal 's zomers lucht verliezen en 's winters lucht aangevoerd krijgen als de andere opening lager ligt.

Bij een dalende groeve zal als de andere ingang lager ligt het klimaat ernstig worden gestoord (binnenstromen van lucht in de winter, afvloeien in de zomer).

Ligt de andere ingang hoger dan zal 's winters lucht afvloeien en 's zomers binnendringen.

De stroming in de verbindingsgang zal natuurlijk bovendien sterk afhankelijk zijn van de

fig. n°4 Stroming in verbindingsgangen (naar *Trombé*, 1952)
(gesloten pijlen stellen een sterkere stroming voor dan de open pijlen)



grootte van de beide communicerende systemen en het verschil in de hoogteliggingen.

Bovendien is het schema van *Trombé* opgesteld voor echte grotten waar de hoogteverschillen tussen de ingangen aanzienlijk zijn. In het volgende zal worden nagegaan of dit schema voor de Zuidlimburgse groeven is toe te passen.

G. Voorbeelden

a. De circulatie in het complex Geulhemergroeve-Koepelgroeve

De Geulhemergroeve (87) (gem. Berg en Terblijt) bestaat uit een flink ingangsgedeelte B, dat via een bottle-neck in verbinding staat met een achterstelsel C. Zij liggen respectievelijk op $\pm 77\text{ m.}$ en $84\text{ m.} + \text{N.A.P.}$ (fig. no. 5).

Het gehele systeem is plm. 900 m. diep en bezit een normale circulatie.

Via de sterk dalende gang (1) echter stond het ingangsgedeelte in verbinding met de Koepelgroeve (184) (A), die op een niveau van

DE NATUURLIJKE LUCHTCIRCULATIE IN ONDERGRONDSE KALKSTEENGROEVEN IN Z-LIMB.

66.5 m. ligt. In deze gang was duidelijk een zeer sterke luchtstroming te constateren in de richting zoals die uit het schema van *Trombé* blijkt (fig. 4, geval a en b). 's Zomers daalde de lucht door deze gang, 's winters steeg hij sterk. Het kenterpunt lag tussen + 1.1° en 4.3° C. (Daan en *Wichers*, 1965).

In 1964 is deze gang en de uitgang ~~B~~ geblokkeerd, waardoor er in de Geulhemergroeve een veel minder gecompliceerde circulatie is ontstaan.

De Sibbergroeve (55), gelegen onder het dorp Sibbe, ten zuiden van Valkenburg is zeer uitgestrekt. De totale ganglengte bedraagt naar schatting 90 km., gelegen onder een terrein van plm. 90 ha. De plattegrond laat zich als volgt schematiseren. (fig. no. 6). (van *Wijngaarden*, 1963). De hoogstgelegen ingang I voert met een steil afdalende gang in het centrale stelsel A (Kapel, Pilarenzaal, Putweg-systeem, ZB-systeem). Dit ligt op 122 m. hoogte. De circulatie in dit systeem is buitengewoon ingewikkeld, omdat het op niet minder dan 6 punten

met de buitenwereld en andere gangsystemen in contact staat. Met a (Tunnelweg) staat het in verbinding met het enorme uitgestrekte zgn. Nieuwe gedeelte (60 ha., hoogteligging vooraan 120 m., achteraan 125 m.). De wintercirculatie door a is krachtig, langs de bodem stroomt koude lucht naar binnen, langs het plafond warme naar buiten. In het zeer sterk vertakte gangstelsel van C is reeds op enkele honderden meters nauwelijks meer circulatie aantoonbaar, behalve in de bottle-neck naar het hier weer achterliggende systeem D.

De zomercirculatie door de tunnelweg is zeer zwak en gedurende lange tijd waarschijnlijk niet aanwezig. Lang blijft A ten opzichte van C kouder en blijft er een wintercirculatie in stand. De warme zomerlucht wordt reeds sterk afgekoeld in de Pilarenzaal in A en de koude bodemlucht moet via e, de bottle-neck (128 m.), naar III afvloeien. Omdat echter e hoger ligt dan a, is deze afvloeiing 's zomers gering.

De uitgang b, een aardpijp in de Kapelweg ligt hoog op het plateau. 's Winters stroomt door deze pijp een sterke stroom warme lucht

fig. n°5 Geulhemergroeve (87) - Koepelgroeve (84)

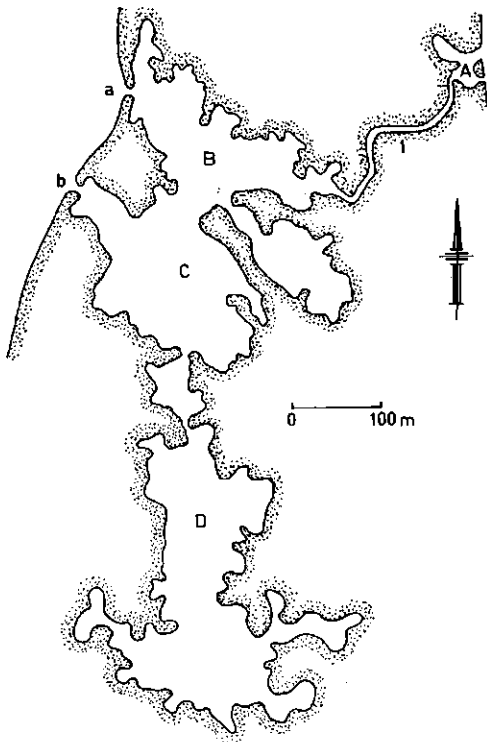
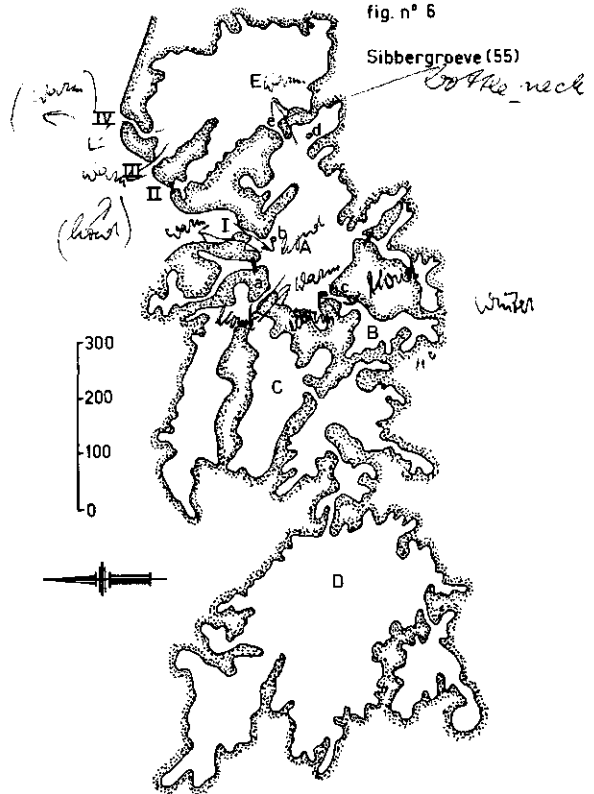


fig. n° 6



naar buiten. 's zomers zuigt deze pijp warme lucht aan. De circulatie in c, de Asweg naar B, het Bergskeswegstelsel, wordt aangedreven door de constante gesteente-temperatuur achter in B, ruim 11° , en de temperatuur aan de ingang van c. Deze is 's winters natuurlijk duidelijk lager dan 11° en er is daarom in B een duidelijke wintercirculatie te constateren, ondanks het feit dat de ganghoogte oploopt van 122 tot 129 m. Deze wintercirculatie gaat zeer lang, meestal zelfs gedurende de hele zomer, door omdat de ingang van c er lange tijd voor nodig heeft om de winterse warmteverliezen weer aan te vullen (laagste deel van de groeve). Een echte zomer-circulatie komt in C en B dan ook niet tot ontwikkeling.

Via de pijp b verliest de groeve 's winters veel warme lucht, wat minder verdwijnt door de pijp d. Een belangrijke hoeveelheid lucht verlaat 's winters dit systeem echter via de verbindingsgang e, de Bottle-neck (128 m.) naar E, en vloeide vroeger weg door de uitgang IV (126 m.), nu door uitgang III (128 m.), II is gesloten. Het klimatologisch bijzondere aspect van het gedeelte A is gelegen in het feit, dat hier op een groot oppervlak, de gehele Pilarenzaal en het direct achtergelegen gebied, een situatie bestaat, die elders in andere groeven alleen in een zeer beperkte zone in de ingangstunnel aanwezig is. Een gebied namelijk waarheen door de dalende ingang een snel transport van koude lucht plaats heeft.

In de ingangstunnel kan deze koude lucht slechts weinig worden opgewarmd door een uitgaande stroom warme lucht, de grote massa hiervan stroomt namelijk door de pijp b naar buiten en via de Bottle-neck e naar systeem E. De bovenste laag lucht in de Pilarenzaal e.a. echter is flink opgewarmd door de circulatie in de enorme uitgestrekte stelsels B, C en D.

Hoe harder het vriest, hoe harder de lucht circuleert, maar de warmtetoevoer is onuitputtelijk. Het gehele gebied is 's winters gekenmerkt door duidelijke temperatuurverschillen tussen bodem en plafond en hierdoor, door een uitgebreide condensatie-zone (zie H). De richting van de luchtstroom in de verbindingsgang e, 's winters van A naar E, 's zomers van E naar A, is te verklaren als men de gangen Kapel-Bottleneck en Putweg-Getske-Bottleneck als een stijgende groeve beschouwt, respectievelijk van 124 m. en 122 m. naar 128 m. en de gangen Boerderijweg-Oudeweg-Bottleneck als een horizontale groeve (III, Boerderij-

uitgang 128 m.). Deze situatie past dus bij de voorbeelden 1a en 1b in het schema van fig. 4. De circulatie in het ingangsgebied van E (Hoevenzalen) was aanvankelijk haast even ingewikkeld als in A.

Het stond met twee uitgangen met de buitenwereld in verbinding, ontving lucht via e uit stelsel A en wisselde met een groot aantal achtersystemen eveneens lucht uit (met Koe-kapelsysteem, E-weg, Witte berg, Noordervaart). In deze systemen vond men 's winters een normale wintercirculatie, die 's zomers nog lang doorging om het warmteverlies in de Hoevenzalen aan te vullen; daarna ontstond een zwakke zomercirculatie.

's Winters ontvangt het systeem via e, de Bottle-neck (128 m.) een flinke hoeveelheid warme lucht uit A. Oorspronkelijk vloeide deze via de Boerderijweg en de Hoevenzalen naar de uitgang IV (125.5 m.). Via uitgang III (128 m.) kwam veel koude lucht naar binnen, terwijl hier slechts weinig warme lucht de grot verliet. Hier bevond zich 's winters een tweede gebied met grote tegenstellingen tussen warme groevenlucht en koude instromende lucht met als gevolg een tweede duidelijk condensatiegebied. Na afsluiting van de ingang IV in het voorjaar van 1962 bleek in de winter 1962/1963 de circulatie grondig gewijzigd. De grote hoeveelheid warme lucht trekt nu door uitgang III naar buiten, betrekkelijk weinig koude lucht komt er naar binnen. Het klimaat is sterk veranderd, vooral de hier eerst aanwezige condensatiezone is hierdoor veel minder sterk geworden.

H. De condensatiezone

In vele groeven, die hiervoor een geschikte structuur bezitten, vindt men op bepaalde plaatsen 's winters een zgn. condensatiezone waar de koude instromende lucht onder de warme uitstromende lucht stroomt. Deze zone wordt gekenmerkt door de aanwezigheid in de lucht van druppeltjes gecondenseerde waterdamp, „mist”. Zeer fraai is deze mistbank bijvoorbeeld te zien in de Apostelhoevegroeve, (96) de Grote Dolekamer, (53) de Keerderberggroeve, (47) de Schenkgroeve (163) en het middendeel van de Sibbergroeve (55). Door Van Nieuwenhoven (1956) en Ter Horst en Van Nieuwenhoven (1958) is reeds over de oorzaken van het ontstaan van deze zone geschreven.

Winters: berg -> lucht

De condensatiezône is een gebied in een groeve dat zich klimatologisch scherp van de rest laat scheiden, er is namelijk een overmaat aan water beschikbaar dat zich op allerlei mogelijke objecten, inclusief vleermuizen, afzet. Bij zeer sterke mistvorming kunnen zich ook op de hardere mergellagen, de touwlagen, druppels vormen.

Op de echte mergel daarentegen zijn nooit druppels zichtbaar, omdat ze waarschijnlijk direct door het gesteente worden geabsorbeerd. Omdat zodra na het instellen van de wintercirculatie en de vorming van de condensatiezône een concentreren van de overwinterende vleermuizen in deze zônes werd opgemerkt en een mogelijke preferentie werd verondersteld, is een onderzoek naar de ligging en de omvang van de condensatiezône ingesteld en is onderzocht onder welke omstandigheden de zône zich vormt. Aanvankelijk is geprobeerd met behulp van evaporometers, zowel die volgens Piche als gewijzigde exemplaren, de begrenzingen van de condensatiezône vast te stellen.

In lucht met een relatieve vochtigheid van 100% vindt in dergelijke meters namelijk geen verdamping plaats. Afgezien van het feit dat de apparatuur die voor deze methode nodig is, zeer bewerkelijk en breekbaar is, bleek er echter bovendien een ernstige fout aan te kleven. Het ging namelijk niet om de bepaling van de zône met 100% relatieve vochtigheid, deze is in de groeve zeer uitgebreid, maar om de zône waarin het water ook in de vorm van kleine zwevende druppeltjes aanwezig is.

In verticale richting is bij ongestoorde circulatie deze zône optisch scherp af te grenzen, in horizontale richting bleek dit niet mogelijk.

Een oplossing werd gevonden door aan het plafond smalle staniolstrippen op te hangen. Het gedeelte hiervan dat in de condensatiezône hing, was meestal na 24 uur prachtig bedauwd.

Deze „condens-strippen” zijn door ons in de winter van 1962-1963 op grote schaal in de Sibbergroeve gebruikt en de resultaten zijn onder meer door *Punt* in 1963 op de meeting van de Society for Experimental Biology te Oxford besproken.

Door *S. Daan* en *Wichers* (1965) is in 1963 deze methode gebruikt bij hun onderzoek in de Valkenburgergroeve (68) en de Geulhemergroeve, (87) door *Kersting* (1966) in de Barakkengroeve (83) en door *N. Daan* (1967) in

de Sibbergroeve (55). Tegen het gebruik van de staniolstrips is het bezwaar aan te voeren dat ze met het ondereinde in een koudere luchtlaag hangen en dat het bovineinde via de geleiding van het metaal een lagere temperatuur dan de omgeving zal krijgen, wat het „beslaan” bevordert. Door een speciale strip, bestaande uit stukjes staniol van 10 cm., verbonden met het geen warmte geleidende cellotape op te hangen, bleek inderdaad dat door de normale condensstrip de dikte van de condensatiezône 20 cm. te laag werd aangegeven. Toch bleken deze strips een waardevol hulpmiddel om op eenvoudige wijze snel een inzicht in de omvang van de condensatiezône te verkrijgen.

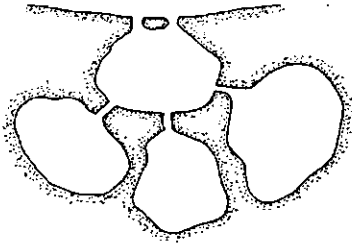
I. Het beheer van de groeve

De ervaring heeft geleerd dat overwinterende vleermuizen gedurende het grootste gedeelte van hun winterslaapperiode een duidelijke preferentie voor bepaalde scherp afgegrensde gedeelten van een groeve hebben. Enkele soorten, de *Rhinolophus*-soorten en *Myotis emarginatus*, vormen hierop een uitzondering.

Het is dus zaak om bij het beheer van een groeve als natuurreservaat, dergelijke situaties niet door goed bedoelde beheersmaatregelen te verstoren en zo de vleermuizen te verjagen. Het bouwen van afsluitmuren (met vliëgspleten) in bepaalde ingangen van de Geulhemer- en de Sibbergroeve hebben sterk verarmend op de vleermuizenfauna gewerkt. Ze zijn in dit opzicht zeer leerzaam geweest, maar dit hoeft niet herhaald te worden. Sterk schematiserend zou gezegd kunnen worden, dat men moet streven naar een ruim ingangsg gebied, waarin een goede condensatiezône tot ontwikkeling kan komen. Hiertoe moet de groeve een of meer flinke ingangen bezitten en via een of meer „bottle-necks” verbinding hebben met grote achterstelsels.

Afsluiten van de ingang van grote stelsels met deuren of muren, al dan niet met vliëgspleten moet sterk worden afgeraden, omdat deze het klimaat grondig in ongunstige zin beïnvloeden. Een hek is de ideale oplossing. Muren en andere afsluitingen van champignonkwekers moeten verwijderd worden omdat deze de groeve, klimatologisch gezien, nodeloos verkleinen, tenzij zij zodanig zijn geplaatst, dat zij de in fig. 7 gegeven situatie helpen benaderen.

fig. n°7 Schema „ideale” vleermuisgroeve



Luchtkokers zou men moeten afsluiten om de warme lucht te dwingen langs het plafond van het inganggebied naar buiten te stromen. Bij het opstellen van beëindigingsplannen voor de restanten die er van de groevenstelsels in de St. Pietersberg zullen overblijven, onder meer het centrale gedeelte van het Zonnebergstelsel, (8) lijkt het redelijk om naar een voor de overwinterende vleermuizen optimale situatie te streven, als compensatie voor de elders geleden ernstige verliezen. De ontwikkeling van de situatie zal hier door regelmatige klimaatmetingen en vleermuisinventarisaties zo nauwkeurig mogelijk worden gevolgd.

J. Summary

The scheme, shown by Jeannel (1926), of the air-circulation in caves does not seem to be applicable to the circulation in the subterranean limestone quarries in the southern part of the province of Limburg (Netherlands). In the corridors, here the differences in altitude do not exceed 12 m. No static situation exists in descending as well as ascending corridor systems, respectively in winter and summer.

An explanation for this is found in the gradually warming up of the inflowing air along the floor and the gradually cooling off of the outflowing air along the ceiling in wintertime, while the reverse is the case during summer.

The results of some experiments are given. The situation in bottlenecks and in corridors forming connections between two quarries is discussed. Some concrete examples are demonstrated. During the winter, in areas of a labyrinth where the incoming air is cooling off the

outflowing air, the water-vapour condenses and a mist zone forms itself. The extension of this zone can be limited by hanging staniol strips from the ceiling.

Hibernating bats show a strong preference for this zone. By managing quarries as a refuge for these animals, attention should be paid to the aforementioned climatological essentials.

Practise has proved, entrances should not be closed by stone walls, not even when provided with an opening, but by means of gates (an iron grill) to avoid disturbance of the subterranean climatological conditions.

K. Literatuur

- D a a n, N., 1967. Klimatologisch onderzoek in de Sibbergroeve, speciaal in verband met de gesteentetemperatuur. Rapport Dierphysiologisch Laboratorium Amsterdam en RIVON, 35 + 9 pp.
- D a a n, S., en H. J. W i c h e r s, 1965. Interne migratie van in Zuid-Limburgse mergelgroeven overwinterende vleermuizen I en II. Rapport, 55 + 67 pp.
- H o r s t, J. Th. ter, en P. J. van N i e u w e n h o v e n, 1958. Onderzoek naar de winterslaap van vleermuizen in de Schenkgroeve te Meerssen. Nat. Hist. Mnd.blad 47: 117-122.
- J e a n n e l, R., 1926. Faune cavernicole de la France. Parijs, 334 pp.
- K e r s t i n g, K., 1966. Onderzoek naar de gesteentetemperatuur in de Barakkgroeve. Rapport Dierphysiologisch Laboratorium, Amsterdam en RIVON, 26 + 53 pp.
- N i e u w e n h o v e n, P. J. van, 1956. Ecological observations in a hibernating quarter of cave-dwelling bats in South-Limburg. Publ. Nat. Hist. Gen. Limburg 10: 1-56.
- O v e r m e e r, W. P. J., en P. J. R o o s, 1960. Vleermuizen en klimaat van de Dolekamers te Gronsveld, januari-april 1959. Rapport Dierphysiologisch Laboratorium Amsterdam en RIVON, 36 pp.
- 1963. Waarnemingen van vleermuizen en klimaat in de Dolekamers, januari 1961 - maart 1963. Rapport Dierphysiologisch Laboratorium Amsterdam en RIVON, 33 pp.
- P a r m a, S., 1962. Waarnemingen in enige Zuidlimburgse mergelgroeven in het bijzonder de Kloostergroeve en de Musschenput. Rapport Dierphysiologisch Laboratorium Amsterdam en RIVON, 64 pp.
- P u n t, A., en S. P a r m a, 1964. On the hibernation of bats in a marl cave. Publ. Nat. Hist. Gen. Limburg 13: 45-59.
- T r o m b é, F., 1952. Traité de spéléologie, Parijs, 376 pp.
- W i j n g a a r d e n, A. v a n, 1963. De Sibbergroeve. De Levende Natuur 66: 193-198.
- 1967. De ondergrondse kalksteengroeven in Zuid-Limburg. Wet. Med. Kon. Ned. Nat. Hist. Ver. no. 71, 28 pp.