

## Den potentielle jordfygning på danske marker.

Teoretiske beregninger  
vedrørende jordmaterialets vindbevægelighed.

Af Hans Kuhlman

### Abstract

*The formulae, tables and diagrammes in this paper may serve as an instrument for quantitative estimations of wind-forces, critical in relation to soil-drifting. They make it possible to prognosticate approximately the behaviour of a naked field during a gale, provided that the wind-forces close to the surface and the nature of the stable soil grains are known.*

Vindens omlejring af agerjord i brug kaldes jordfygning; hvis denne proces vedvarer en dag eller mere, sker der skade på afgrøder, grøfter og andre kulturforanstaltninger. Desuden indtræffer en irreversibel forringelse af jordbunden. Jordfygningens gener har her i landet et sådant nutidigt omfang, at vinden ofte betragtes som et destruktivt, faretruende element i dansk landbrugs fysisk-geografiske miljø; dette har professor *Niels Nielsen*, Geografisk Institut, København, påpeget i tale og skrift, se f. eks. i tidsskriftet »Jydsk Landbrug«, maj 1960.

For tiden forsøger Geografisk Institut, København, at kortlægge fygningens forekomst i Danmark, men dette arbejde har ikke nået et sådant stade, at der kan publiceres arbejdsresultater. Derimod er det hensigten i det følgende at behandle problemerne vedrørende den situation, som udløser jordfygningen. Der vil blive omtalt nogle simplificerede, idealiserede funktionsforhold mellem vindstyrken og fygningen for herved at fremstille et bedømmelsesgrundlag for den potentielle afblæsning.

For at kunne give en prognose eller en skadebedømmelse er det nødvendigt at kende mekanikken i jordfygningen; derfor er denne beskrevet i sammenhæng med gennemgangen af den kritiske situa-



Fig. 1. Sandet jord fyger for vinden hen over en vej i det sydvestlige Jylland, april 1960.

tion. Til indledning kan gives et illustrerende eksempel på nødvendigheden af at kende jordfygningens teori: Det har været svært at bevise den påstand, at kunstgødningen blæste bort fra angrebne marker, fordi man ved prøveudtagningen indsamlede på »forkerte steder«, d. v. s. steder, hvor man teoretisk ikke kunne forvente at finde bevis: sammenblæst gødning. Omtalen af eksemplet vil blive uddybet i et senere afsnit.

#### Den kritiske vindstyrke.

Den nøgne, tørre og findelte markjord begynder at fyge, når vindstyrken overstiger en vis størrelse. Den aflejres påny, når vinden er aftaget tilstrækkeligt. Materialets luftrejse kan realiseres, hvis vindstyrken i et tidsforløb opnår to kritiske værdier: *starttærsklen*, d. v. s. den mindste vindstyrke, som kan igangsætte fygningen; og *bevægelsestærsklen*, d. v. s. den mindste styrke, som kan vedligeholde transporten. Tærskelværdierne varierer i takt med ændringer af jordens beskaffenhed, men mærkeligt nok er de to tærskler kun undtagelsesvis identiske for et givet jordmateriale; dette vil blive demonstreret senere.

Studiet af klitter har vist, at vinden kan transportere materiale på flere måder, dels ved opslemning i luften, dels ved fygning langs overflader. Den overfladebundne fygning sker ved, at kornene hopper afsted eller kravler uden at hæve sig; de kravlende, krybende

korn bevæges ved de hoppendes anslag. Man kan nominere tre transportmåder, som er indeholdt i begrebet fygning: *suspension*, d. v. s. transport i opslemmet tilstand; *saltation*, d. v. s. transport af korn i hoppende bevægelse; *krybning*, d. v. s. partiklerne skubbes frem af de salterende korn. Krybningen kan altså ikke forekomme alene; den vil være en langsom transportform for en minoritet af de vandrede masser. De fleste, som har iagttaget fygning, vil have bemærket, at på marken »løber« det sandede materiale, og at højt over marken ryger støvskyer: saltationen og suspensionen i funktion. Krybningen er svær at iagttage og behøver ikke at være tilstede.

Til hver transport-type svarer en vindtærskel, d. v. s. en mindste vindstyrke, som kan transportere på den givne måde. Der findes altså *suspensions-*, *saltations-* og *krybningstærskler*, som under bestemte betingelser bliver identiske med bevægelsestærsklen eller starttærsklen.

Begrebet vindtærskler kan uddybes ved brug af et tænkt eksempel: Et almindeligt sandskorn ligger i en markoverflade og vinden tænkes at være stadig tiltagende i styrke — hvilken adfærd vil kornet udvise? Vort sandskorn, der på marken befinder sig blandt forskelligartede jorddele, betragtes som en enlig repræsentant for sin slags. Dets adfærd er ikke nødvendigvis den samme som største delen af markens. Under let brise ligger hele marken i ro. Ved frisk blæst begynder overfladens lettere korn at hoppe afsted, starttærsklen for vort korns naboer er passeret; det selv er for tungt til at hoppe, derimod puffes det fremad af de salterende nabokorn, dets krybnings-tærskel er overskredet. Vinden øges til kuling og trækker da så kraftigt i kornet, at dette begynder at hoppe hen over marken (kornets egen saltationstærskel er nået); efter en stund kommer nogle orkanagtige stormstød, som hvirvler kornet højt op i luften (suspensions-tærsklen) og kaster det om bag et hus, i læ; hermed er bevægelsestærsklen passeret. Det konstruerede adfærds-eksempel var »farvet« af de vindstyrker, som man lod indtræffe; i en mere normal vejr-situation ville kornet have haft en simpel adfærd, f. eks. kun én transportform. En anden art af korn ville ved de samme vindstyrker have haft en afvigende adfærd, fordi de ovennævnte tærskler, de kritiske vindstyrker, varierer med kornets art, størrelse og form. Det er denne adfærds variation, der ønskes belyst.

Nogle mener, at det er let at angive, hvornår en bestemt mark vil fyge, idet det er naturligt at antage, at der findes et ukompliceret funktionsforhold mellem jordtypen og de kritiske vindstyrker; men desværre er det vanskeligt at give en forudsigelse. Lovmæssigheden



Fig. 2. Jorddriver, aflejret i læt fra et ungt løvtræshegn. Man ser hen ad en næsten tilføjet markvej. Den ribbede overflade på driverne viser, at markhegnet ikke har stoppet fygningen totalt. Maj 1958 i Thy.

jordmateriale / tærskelværdier er ikke overskuelig, især fordi sagens parter, jord/vind, er svære at beskrive. Derfor nødsages man til, før omtalen af lovene for den kritiske vindsituation, at beskæftige sig med problemerne ved at beskrive jord og vind.

Man vil have bemærket, at der er blevet set helt bort fra, hvorledes marken kommer i den situation, at fygning kan indtræffe. Her bliver ikke behandlet alle de faktorer, som muliggør fygning; opgaven er koncentreret til kun at omfatte den »udløsende vind«s problemkreds.

#### Beskrivelse af fygejord.

Normalt beskriver og karakteriserer man markjord ved dens kemiske og mekaniske sammensætning, som udfindes i et laboratorium ved aktivt at splitte materialeprøver i deres stabile, fysiske basiskomponenter; men i en naturlig topjord vil man meget sjældent finde de fysiske grundelementer individualiserede. Vinden oplever et langt mere komplekst sediment, end laboratorieanalyserne umiddelbart lader ane. Almindelig markjord vil i sedimentologisk og fysisk forstand være en overordentlig heterogen samling af elementer.

Det er nødvendigt for jordfygningens udvikling, at den nøgne jord er opdelt i løstliggende fragmenter; denne struktur indtræffer hyppigt som følge af markarbejdet. De løse jorddele i pløjemarken er uensartede, bl. a. fordi de er udskåret af et heterogent materiale. Det er denne komplekse blanding, vinden berører. Det er den eksisterende

de fragmentsammensætning og ikke den oprindelige kornfordeling, som er den essentielle karakteristik for en fygningsmoden mark. Ved fragmentsammensætning forstås samlingen af frie, løstliggende smådele af jord, hvad enten disse består af mineralkorn eller af sammensatte krummer og klumper. Hvis fragmenterne er meget små, siges jordtypen at have en høj *finhedsgrad*: eks.: harvet dyndjord. (Høj *fragmenteringsgrad* betyder, at de løse smådele overvejende består af de fysiske basiskomponenter, eks.: klitjorde.)

Fygningens påbegyndelse og udvikling afhænger af de givne jordfragmenters størrelse, vægtfylde, form og stabilitet samt disse egenskabers variation inden for jordblandingen. Da det altid er svært at karakterisere en mangesidig, heterogen variation, er det også vanskeligt at beskrive en jordtype. En videre følge heraf bliver, at det er en delikat opgave at angive fygningsens afhængighed af jordarten. Man kan omgå problemet ved brug af begrebet: *dynamisk ækvivalens*; herved forstås ens adfærd for ulige elementer. Forskelligartede korn, som følges i en transportperiode, siges at være dynamisk-ækvivalente, eks.: et stort, let korn kan følges med et lille, tungt. Man antager altså, at for ethvert fragment findes der et standardkorn med samme adfærd, og at til enhver fragmentsamling svarer en ækvivalent samling standardkorn. Det vil være rimeligt at vælge kvartskorn til standard, fordi kvartssand er et meget almindeligt materiale i naturen, og fordi man ved en del om kvarts fra den geologiske forskning.

Studiet af klitter har givet oplysninger om kvartskorns adfærd i en luftstrøm; hvis man stiller disse oplysninger i relation til jordfygningen, kan der skabes et idealiseret adfærdsskema, der kan tjene som bedømmelsesgrundlag for konkrete markers vinderosion.

I det efterfølgende regnes med, at »jord« består af kugleformede kvartskorn (vægtfylde = 2,65), der fremtræder i monomodalt varierede ansamlinger. Desuden vil der lejlighedsvis blive omtalt lettere standardkorn svarende til humuskorn (vægtfylde = 1,3). De to vægtfylder tænkes at afbilde yderpunkter i de normale jorddeles tyngdevariation. Man har herved pr. definition fastsat jordfragmenternes art og form, således at der kun bliver arbejdet med een jordbeskrivende variabel, nemlig fragmentstørrelsen, d. v. s. korndiameteren.

Spørgsmålet vedrørende den kritiske situations beskaffenhed er blevet omformet til: Hvis »denne« jords struktur kan ækvivaleres med »hin« samling kvartskorn, hvilke vindstyrker er da tærskelværdier for de forskellige transportformer?

### Beskrivelse af vinden.

Ved de meteorologiske stationer beskrives vindstyrken almindeligvis ved hjælp af Beaufort-skalaen, som i sin oprindelse er baseret på en vurdering af vindens effekt i landskabet. Desværre er det vanskeligt at omregne en Beaufort-værdi til en vindhastighed, fordi erfaringen viser, at selv ved konstant vejrsituation varierer vindhastigheden med målehøjden over terrænet og med observationspostens placering i landskabet. Det betyder, at den enkelte mark ikke »direkte« udsættes for de vindstyrker, som rapporteres i vejrberetningerne. Markens eventuelle fygning er bestemt af den *overfladevind*, som reelt kontakter jorden.

Vinden i de jordnære luftlag, hvor fygningen udvikles, kan, teoretisk, beskrives repræsentativt ved sit hastigheds-profil:  $v(z)$ , som betyder middelhastigheden  $v$  i den variable højde  $z$  over jorden. Hvor overskueligt og brugbart hastigheds-profilet er, afhænger af, hvilken matematisk funktion der med god tilnærmelse kan afbilde den observerede funktion:  $v(z)$ .

Formen af vindens hastighedsprofil afhænger af 1) den generelle, frie luftstrøm (gradientvinden); 2) luftens temperaturforhold; 3) terrænets højdefordeling; 4) landskabets indhold af terrængenstande (huse, hegn o. s. v.); 5) jordoverfladens ruhed; 6) ændringer af overfladearten. For at forenkle problemstillingen skal faktorerne 2), 3) og 4) fikseres til bestemte værdier. Der skal kun omtales vejr-situationer med omtrent adiabatisk temperaturprofil; herved negligeres konvektionsstrømmenes betydning for jordfygningen; på klare dage med vindtransport er det tydeligt, at varmeturbulensen influerer. Kulturlandskabet tænkes at være uden markante terrængenstande og uden særlige højdeforskelle; læhegns og terrænhævnings betydning skal ikke omtales; derom kan læses andetsteds, f. eks. hos *Martin Jensen* 1954 og 1958. Den frie luftstrøm og terrænets overfladeruhed er de på vindprofilet influerende faktorer, som tænkes at variere.

Hvis de nævnte forudsætninger er realiseret, lader vinden sig beskrive ved ret simple matematiske modeller, som er anført i tillægget under formel 1, 2 og 3. Formlerne repræsenteres ved udtegning i halvlogaritmisk koordinatsystem (ordinat =  $\log(z-D)$ ) ved rette linier. Friktionshastigheden  $V_*$  og overfladeparametrene:  $z_0$ ,  $D$ ,  $k'$  og  $V_t$  lader sig let bestemme grafisk ud fra målinger af simultane hastigheder i forskellige højder. Naturlige overfladers parametre er bestemt af mange forskere (se *Kuhlman* 1957); her kan gengives et par tal-eksempler på overfladevinde.

Hvis man måler vinden over en tromlet, muldet mark, kan man finde  $z_0 = 0,03$  cm og  $D = 0,0$  cm; indsættes disse værdier i formel 2, fås følgende relative vindprofil, gengivet i tabel I:

Tabel I:

*Den relative vindhastighed i forskellige højder:*

meter.....	10	5	2	1	0,5	0,25	0,10	0,05	0,01
relative hastighed.....	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,56	0,49	0,34

$z_0 = 0,03$  cm       $D = 0,0$  cm

Det fremgår af tabel I, hvorledes hastigheden varierer med højden, og man forstår vanskeligheden ved at omregne eet Beaufort-tal til een vindhastighed, hvis man ikke kender de topografiske målebetingelser. Formel 1 viser, at det naturlige fællesudtryk: »vindstyrken« gengives bedst ved friktions-hastigheden  $V_*$  (og derved ved  $\tau_0$ ), fordi  $V_*$  ved konstant vejr-situation (konstant gradientvind) vil være uafhængig af målehøjden, og konstant.

En fattig, moden rugmark kan have følgende aerodynamiske parametre:  $z_0 = 1,0$  cm  $D = 30,0$  cm; hvis formel 2 benyttes sammen med disse, vil det relative vind-profil være som vist i tabel II:

Tabel II:

*Relative vindhastigheder i forskellige højder:*

meter.....	10	5	2	1	0,5	0,40	0,31
relative hastighed.....	1,00	0,89	0,75	0,62	0,43	0,33	0,00

$z_0 = 1,0$  cm       $D = 30$  cm

Hvis man sammenligner tabel I og II, ses tydeligt, hvorledes overfladens beskaffenhed indvirker på vinden; der skimtes en hovedregel: Desto glattere en overflade er, desto større vindhastigheder nær jorden.

De to tabellers vindprofiler har forskellig relativ friktions-hastighed ( $V_*$ ), d. v. s. forskel i fri strømning. Hvis den relative  $V_*$  er ens for de to overflader, må tabel II omskrives; dette er sket i tabel III, hvori 10 m over den tromlede mark regnes for referenshøjde.

Tabel III:  
Relative hastigheder i forskellige højder.

meter.....	10	5	2	1	0,5	0,40	0,31
relative hastighed.....	0,66	0,59	0,49	0,41	0,28	0,22	0,00

relative hast. = 1,00 er målt 10 m over  $z_0 = 0,03$  cm.

Se tabel I og II.

Tabel I og III viser, 1) ved »samme vind«, d. v. s. konstant  $V_*$ , haves forskellige hastigheder i samme målehøjde; 2) hvis der ved forskellige overfladetyper måles samme hastighed i standardhøjde, haves »forskellige vindstyrker«. Man bør derfor til videnskabelig og teknisk brug forsynet mål for vindhastigheden med en højde- og en ruhedsangivelse, f. eks.:  $v(z)_{z_0+D}$ .

I tabellernes eksempler er ikke taget hensyn til, at vinden over en mark er påvirket af dennes snævre, horizontale udbredelse. Idet vinden krydser markens luvkant, begynder dens bundlag at præges af den nye flade. Denne indflydelse forskydes gradvis opad, efterhånden som vinden vandrer over arealet. Det medfører, at formel 1—3 har endnu en begrænsende forudsætning, nemlig:  $z \leq h(x)$ , som er en højde i afstanden  $x$  fra markens luvkant, parallelt med vindretningen;  $h$  er den højde, hvortil en given overflade præger vindprofilens parametre; dens størrelse afhænger bl.a. af vandringsvejen:  $x$ . På basis af Martin Jensens oplysninger er i tillægget angivet et taleksempl for  $h(x)$ , se formel 4 og tabel T. I. Eksistensen af  $h(x)$  bevirker, at på et bestemt sted i kulturlandskabet vil der som regel forefindes *etager af overfladevinde*, hvis karakter skyldes arealer, der ligger langt til luv for observationsstedet.

Ovennævnte taleksempler demonstrerer, hvor svært det er at angive vindforholdene et bestemt sted i landskabet, til en bestemt tid, hvis man blot har oplysninger fra en fjerntliggende meteorologisk station. Den sporadicitet i fygning-udbredelse, som ofte ses, skyldes bl. a. vindens store følsomhed over for ændringer i makro- og mikrotopografien. Denne »følsomhed« kan man ikke lære at kende fra de normale meteorologiske publikationer. Før man kan forudsige og forklare jordfygningens udbredelse, er det nødvendigt at foretage detaljerede vindmålinger i en truet egn.

I dette arbejde stræbes mod et teoretisk overslag over beskaffenheden af den fygning-udløsende situation, og dette vil kunne opnås,



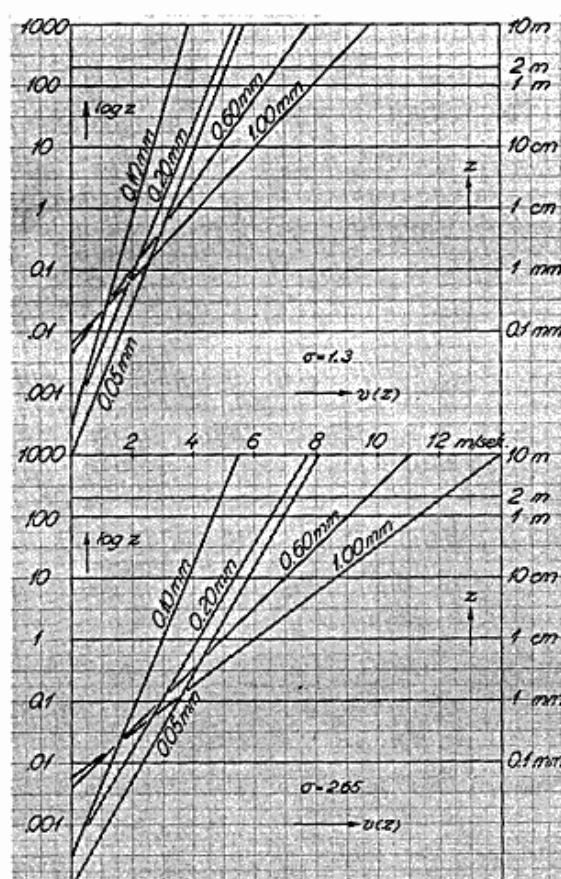


Fig. 3. Udvalgte vindhastighedsprofiler, starttærskler, som angiver den mindste vindstyrke, der kan igangsætte fygningen af en findelt jord med en bestemt „repræsentativ“ korndiameter og med en bestemt vægtfylde. Abscissen angiver vindhastigheden, ordinaten højden over materialeoverfladen; mm-benævnelsen langs vindprofilerne, de skrå linier, viser de tilhørende korndiameter. Øverste liniebundt gælder for en kornvægtfylde på 1,3 (humus), nederste bundt for en vægtfylde på 2,65 (kvarts).

hvis vinden kan beskrives ved formel 1 eller afledninger derfra. Hvilke logaritmiske »vindprofiler« er tærskelværdier for »denne« samling fragmenter, som ækvivalerer med »hine« kvartskorn? — dette er den idealiserede, simplificerede opgave.

#### Jordfygningens påbegyndelse, starttærsklen.

Hvis man har en ensartet samling af løse partikler, som kan karakteriseres ved en korndiameter  $d$ , og hvis man har vindforhold, der kan beskrives ved formlerne 1—3, er det muligt at angive den »vindstyrke«, som kan starte vindtransport af materialet. Denne starttærskel udtrykkes oftest ved friktionshastigheden mærket lille  $t$  (Bagnold, *Chepil*:  $V_{*t}$ ). I tillæggets formel 5 er opført relationen mellem  $V_{*t}$  og  $d$ . Naturlige friktionshastigheder er ikke nemme at observere,

og de definerer ikke umiddelbart bestemte vindhastigheder; derfor er det ønskeligt at anføre starttærsklen ved det målbare vindhastigheds-profil:  $v_t(z)$ , som kan udledes fra  $V_{*t}$ .

Formel 1 udsiger, at hvis  $V_*$  og  $z_0$  er kendte værdier, vil  $v(z)$  være fastlagt i absolutte tal. Af formelen ses også, at  $V_*$  er 17,4 % af hastigheds-gradienten for vindprofilet, når dette tegnes i et koordinat-system med  $\log z$  og  $v(z)$  som ordinat og abscisse. Værdien af  $z_0$  afhænger af ruhedselementer; det vil i vor idealiserede situation sige:  $z_0$  er bestemt ved korndiameteren  $d$ . Zingg (1953) har i vindtunnel fundet en empirisk formel for  $z_0$ 's afhængighed af  $d$ ; denne er gengivet i tillæggets formel 6. Zinggs formel er åben for diskussion, da den giver nogle mærkelige små værdier for  $z_0$ , se tabel T. III og Martin Jensens arbejder. Hvis man kombinerer formlerne 1, 5 og 6, er det muligt at udtrykke  $v_t(z)$ , starttærsklen, alene ved  $d$  som variabel — naturligvis forudsat at formlernes betingelser er opfyldt. Blot to talværdier i funktionen  $v_t(z)$  vil entydigt beskrive det kritiske vindprofil. Det er rimeligt at benytte en hastighed i en standardhøjde og friktionshastigheden; altså talparret  $V_{*t}$ ,  $v_t(z_1)$  udtrykker entydigt starttærsklen. Her vælges standardhøjden 10 cm, fordi det er hastighederne ganske nær jorden, som er relevante. I tillæggets tabel T. IV er angivet nogle værdier af  $v_t(10)$  for forskellige korndiameter, og for to vægtfylde.

For at tydeliggøre starttærsklens afhængighed af overfladekornene er i fig. 3 tegnet et udvalg af de kritiske hastighedsprofiler. Fig. 3 og tabellerne T. II og T. IV viser nogle karakteristiske træk: starttærsklen har et minimum for korn på ca. 0,1 mm; hvad enten fragmenterne er større eller mindre, stiger tærsklen, når  $d$ -værdien fjernes fra minimums-zonen. Fragmentsamlinger med  $d < 0,10$  mm har stigende tærskel for aftagende diameter; i naturen vil denne ejendommelighed være uden væsentlig betydning, da et sådant jordpulver hurtigt vil klumpe, idet kohæsive kræfter er virksomme. Fragmenternes vægtfylde indvirker stærkt på starttærsklen: humuskorn synes rundt regnet at have samme starttærskel som kvartskorn med den halve diameter, forudsat  $d > 0,20$  mm.

Efter at have tabellagt starttærsklen er det af interesse at få angivet den sandsynlighed, med hvilken en given tærskel forekommer i kulturlandskabet. Men et overslag over disse tærskelhyppigheder hæmmes af uvidenhed om udvekslingen mellem »vindetagerne«. I højdezonen 1 m til 10 m vil der sjældent forekomme vindprofiler med så små ruhedsparametre (*d. v. s.* store bundhastigheder), som der er regnet med i det foregående; det medfører, at hvis hastighe-

derne i den *kritiske højdezone* 0 cm til 10 cm skal være tilstrækkelige, må friktionshastigheden i de overlejrende zoner være større end angivet i tabellerne. Sandsynlighedsoverslaget vanskeliggøres også ved, at man ikke i Danmark har publiceret målinger af samhørende værdier af Beaufort-tal og friktionshastighed. Man kan give en slags svar ved at påpege, hvordan vindstyrkens hyppighed afhænger af dens værdi. I bogen: Danmarks Klima, 1933, er angivet de observerede hyppigheder for de forskellige vindhastigheder i april ved Vamdrup; ved brug af disse tal kan dannes tabel IV's summerede fordeling.

Tabel IV.

Hyppigheden af vindhastigheder  $\geq$  en given vindhastighed. April.

v m/sek.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% $\geq$	72	53	37	26	18	13	9	6	4	3	1,5	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0

Tabel IV viser, at for hastigheder mellem 5 og 15 m/sek. (»normal« måleøjde) halveres hyppigheden, for hver gang vinden tiltager med ca. 2 m/sek. Denne negative, exponentiale korrelation bliver endnu stærkere for hastigheder over 15 m/sek. Store hastigheder er særdeles ualmindelige; denne ejendommelighed ved naturlig vind bevirker, at sandsynligheden for, at en bestemt fragmentstørrelse sættes i bevægelse, aftager voldsomt, når kornstørrelsen stiger ud over  $\frac{1}{2}$  mm. Til gengæld er der store chancer for, at korn mellem  $\frac{1}{10}$  og  $\frac{1}{3}$  mm sættes i bevægelse. Vinderosionen bevirker derfor en stærk selektion i en blandet fragmentsamling.

#### Saltations- og krybningstærskel.

Hvis fygningen over en ensartet, mobil overflade er sat i gang, ændres vindbilledet væsentligt, idet vindprofilet nu må beskrives ved formel 3. Eksperimenter (*Bagnold, Chepil*) har vist, at friktionshastigheden, som lige akkurat kan vedligeholde saltationen, er ca. 80% af den, som er nødvendig for start. Den nye teoretiske model for hastighedsprofilet medfører også en anden ændring af tærskelprofilets værdier i forhold til situationen ved påbegyndelse af fygning. Profilerne har et andet focus, udtrykt ved  $V_t$ ,  $k'$ , ikke ved  $z_0$ ; dette betyder en anden »ruhed« og »turbulens« for vinden. Den mindste vindstyrke, som kan vedligeholde jordfygning, er altså i sin struktur væsentlig forskellig fra starttærsklen.

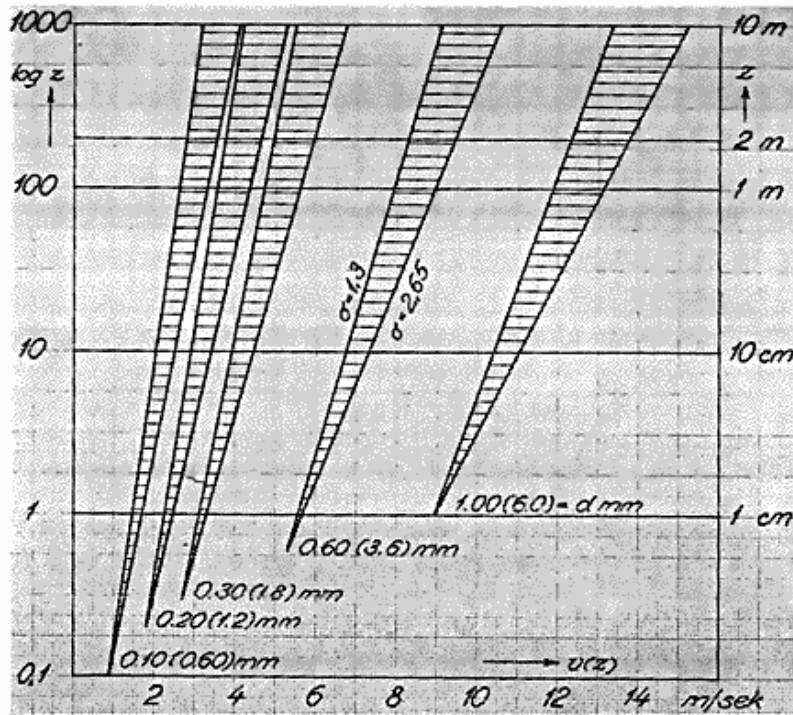


Fig. 4. Udvalgte vindprofiler, saltations- og krybningstærskler, som angiver den mindste vindstyrke, der kan vedligeholde den, af vinden skabte, hoppende og krybende bevægelse af et bestemt jordmateriale. Koordinaterne som i fig. 3. De skraverede arealer forestiller det bundt af kritiske vindprofiler, som fremkommer, hvis et givet ækvivalent korns vægtfylde tænkes at variere fra 1,3 til 2,65. Ved spidserne af de markerede arealer står anført de tilhørende korn-diameter, tallene i parentes svarer til krybningstærskler.

Zingg har publiceret en experimentel relation mellem kornstørrelsen og focus ( $V_t, k'$ ), og denne er udtrykt i formel 7 og tabel T.V i til-lægget. Hvis formlerne 7 og 3 anvendes sammen med 5, som ganges med en talfaktor 0,80, kan man fremstille nogle af de teoretiske saltationstærskler udtrykt ved hastighedsprofilet  $v_{ts}(z)$ ; dette er sket i tabel T.VI. I fig. 4 er præsenteret nogle af de for saltationen kritiske vindprofiler; det ses, at vægtfylden ikke påvirker grænseværdierne i større omfang.

Da saltationen over en mobil flade altid vil medføre krybning, specielt blandt de grovere bestanddele af fragmentpopulationen, vil en given saltationstærskel samtidig være en krybningstærskel for grovere bestanddele. Et hoppende korn kan skubbe fragmenter (af samme art), som har indtil 6 gange dets eget diameter. Den til en bestemt kornstørrelse svarende saltationstærskel er altså krybnings-tærskel for korn, hvis diameter er fra 1 til 6 gange den givne, dominerende. For fragmenter  $d_1 \geq 0,60$  mm gælder, at deres krybnings-tærskel er lig saltationstærsklen for  $d_2 = 1/6 d_1$ . Da korn mindre end

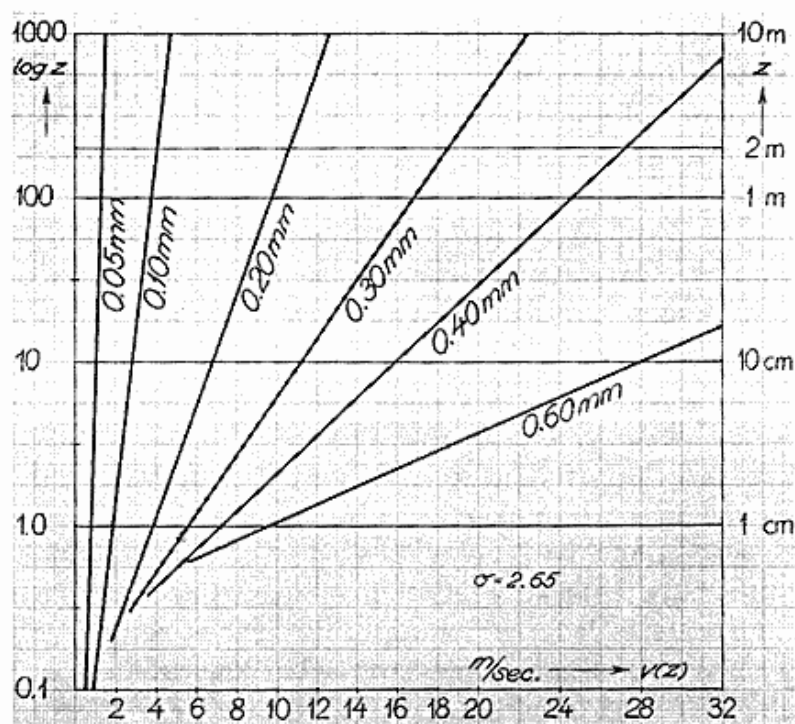


Fig. 5. Udvalgte vindprofiler, suspensionstærsker, som angiver den mindste vindstyrke, der formår at opslemme et materiale af kvartskorn med en bestemt diameter. Koordinater som i fig. 3.

0,10 mm kun bevæges ved suspension, vil korn  $0,10 < d \leq 0,60$  mm have en krybningstærskel, der er identisk med den minimale saltationsgrænse. I næste afsnit skal nærmere vises, hvorfor saltationen ikke forekommer for de fineste fragmenter.

### Suspensionstærskel.

Et jordfragment, som ved fygning eller på anden måde er slynget op i luften, kan ved tilstrækkelig vind holdes opslemmet. Vinden må i så fald være af en sådan størrelse, at dens opadgående komponent er større end fragmentets terminale faldhastighed, dets »sedimentationshastighed«. *Bagnold* har anslået, at i naturlig vind er den vertikalt rettede hastighed i 10 cm's niveaue  $\frac{1}{5}$  af den horisontalt rettede middelhastighed. *Dapples* har angivet nogle observerede faldhastigheder for kvartskorn. Hvis man sammenfatter de to forfatteres oplysninger, kan man ved hjælp af formel 3 (og 1) udtrykke suspensionstærsklen, den mindste vindstyrke, som kan vedligeholde opslemningen, ved talparret  $v_{\text{sus}}(10)$  og  $V_{* \text{sus}}$ , således som det er gjort i tillæggets tabel T.VII. Man går ud fra, at hvis der sker en suspension i 10 cm-niveaue, vil der være en almen tendens til suspen-

on af den givne overflades korn. I fig. 5 er udtegnet nogle typiske grænseprofiler for suspension; det vises, at tærsklen undergår store ændringer ved små ændringer i materialet. Korn  $d < 0,10$  mm behøver så lidt vind for at opslemmes, at de ikke kan transporteres på anden måde. Hvis kornstørrelsen tiltager, vokser suspensionstærsklen enormt, således at fragment af kvartstypen større end  $1/3$  mm kun vil opslemmes i orkanagtige storme. Korn større end 1 mm vil i realiteten ikke kunne løftes op i luften; sammenlign med omtalen af vindstyrkernes frekvens.

### Bevægelsestærskel og materialets sortering i vinden.

Der kan laves en oversigt over de omtalte, kritiske vindstyrker, hvis man vedtager, at vindstyrken i højdezonen 0 til 10 cm over en mobil kornoverflade kan udtrykkes entydigt og sammenligneligt ved  $V_*$ , idet man antager, at korndiameteren præcist definerer ruhedsparemetrene, således at vindprofilen er fastlagt via friktionshastigheden og korndiameteren. Oversigten kan fremstilles grafisk ved for hver af de 4 tærskler at tegne en kurve, der forestiller den givne vindtærskel som en funktion af korndiameteren; dette er sket i fig. 6, hvori der kun er taget hensyn til kvartskorn. Ethvert punkt i diagrammet angiver et bestemt korn ved en bestemt vindstyrke; punktets placering i forhold til de tegnede kurver (=mindste vindstyrke ved hvilken en bestemt begivenhed indtræffer) viser kornets transportform. Et par eksempler:  $d = 0,05$  mm ved  $V_* = 10$  cm/sek., kornet er opslemmet, hvis det er sat i bevægelse, men i ro, hvis det ligger på en homogen overflade; 0,25 mm ved 100 cm/sek.; materialet er opslemmet; 2 mm ved 40 cm/sek., kornet vil enten være i ro eller krybe af sted.

Korndiameter-skalaen i fig. 6, der kan betragtes som en referensskala for naturlige jordfragmenter, kan gruppe-inddeles og benævnes således:

$d < 1/16$ mm	pulveragtigt materiale
$1/16 \leq d < 1/8$ mm	meget finsandet materiale
$1/8 \leq d < 1/4$ mm	finsandet materiale
$1/4 \leq d < 1/2$ mm	sandet materiale
$1/2 \leq d < 1$ mm	grovsandet materiale
$1 \leq d < 8$ mm	gruset materiale
$d \geq 8$ mm	stenet materiale

Disse kornklasser er et brugeligt system ved beskrivelse af vindens behandling af de forskellige jordtyper, idet man bruger fig. 6's og nærværende teksts oplysninger.

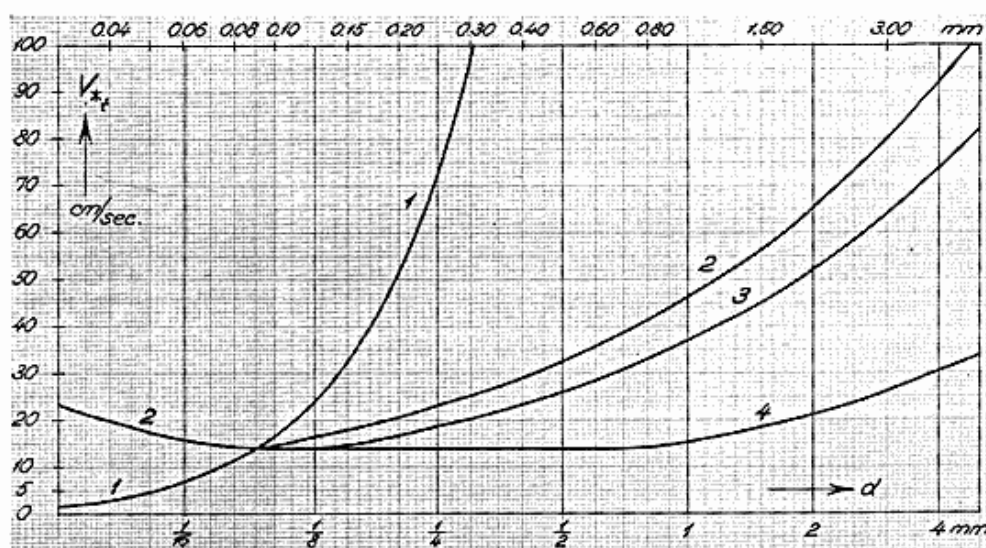


Fig. 6. De kritiske, jordnære vindstyrker for de forskellige fygningsarter, transporttyper. 1: suspensionstærskel, 2: starttærskel, 3: saltationstærskel og 4: krybningstærskel, er afbildet som en funktion af en for jordmaterialet repræsentativ korndiameter. Abscissen viser i log.skala diametrene af kvartskorn, ordinaten angiver vindstyrken udtrykt ved friktionshastigheden for luftlag meget nær den homogene kornoverflade.

En homogen overflade af pulveragtige jordfragmenter er relativt vindstabil, dels fordi der hurtigt udvikles kohæsive kræfter, dels fordi pulveret skaber en næsten laminar strømning nær jorden. Pulveret vil i en blanding med sand få sine vindtærskler afstemt efter dets saltationstærskel, således at det i en heterogen overflade vil være meget let bevægeligt. Hvis det støvagtige materiale er sat i bevægelse ved færdsel eller fygning, vil det følge vinden og meget vanskeligt aflejres, fordi dets suspensionstærskel er meget lille. Opslemning i luften er den eneste mulige transportform for jordpulveret. Det vil udfældes, hvis vinden dør bort, eller hvis der i luften sker en sammenkitning til grovere fragmenter. Fragmenter, hvis kvartsekvivalent er mindre end 0,06 mm, går tabt for det område, hvorfra de udgik. Ofte dannes pulveret under selve fygningen ved sønderslagning og afslidning af de salterende korn. Da humus og kunstgødning tit danner instabile fragmenter, vil begge dele forsvinde som støv i luften og måske falde i havet; kun ved hjælp af særlige metoder er det muligt at finde dette materiale. Man kan ikke forvente at finde fin-delt humus og gødning i jorddriverne langs hegn og veje. Denne afblæsning er den alvorligste fare ved vinderosionen. Hver gang fænomenet forekommer, tager vinden sin told i form af madjord, der aldrig kan føres hjem igen. Man har mange indicier for, at denne madjordsafblæsning sker i nutiden; det lettest påpegelige er den



misfarvning, som himlen fremviser på en fygningdag. Geografisk Institut besidder et håndgribeligt bevis på fygningens alvor, ved at have en jordprøve, som er opsamlet under et støvfald på fyrskipet 14 km nord for Gilleleje, i forbindelse med den nordvestlige kuling 22. april 1960. Der er ca. 100 km til de nærmeste marker i Jylland.

Det meget finsandede materiale ( $1/16$ — $1/8$  mm) har den mindste starttærskel af alle kornklasserne. Denne vindstyrke vil sandsynligvis forekomme i 60—70% af året, men mange ting hindrer hele tidsperioden i at være dynamisk effektiv. Suspensionstærsklen har omtrent samme størrelse som den fygningensudløsende vind; materialet er altså meget mobilt og vil let flyve bort.

Finsandet ( $1/8$ — $1/4$  mm) har fire forskellige kritiske vindstyrker. Suspensionstærsklen er ekstremt stærkt stigende inden for intervallet; dermed aftager sandsynligheden for suspensiv transport enormt. Den overfladebundne bevægelse er let at realisere, og der er ingen nævneværdig forskel på start-, saltations- og krybningstærskel. Bevægelsestærsklen er altså lav, og fygningen sker overvejende ved saltation.

Sandet ( $1/4$ — $1/2$  mm) har så store suspensionstærskler, at disse kun forekommer ved stærke storme. Krybningstærsklen er stadig lig starttærsklens minimum; bevægelsestærsklen er altså lav, hvis sandet udgør en grovere minoritet i en blanding. Hvis materialet danner den dominerende majoritet, er bevægelsestærsklen identisk med saltationstærsklen, som i denne kornklasse er moderat, men voksende; ligesom den lidt højere starttærskelværdi. Det ses, at korn omkring  $1/4$  mm er let bevægelige, men almindeligvis overfladebundne. De udgør derfor hovedmassen af de jordfygningsdriver, man finder hvert forår, fig. 2.

Grovsand ( $1/2$ —1 mm) bevæges nemt, hvis det udgør et mindre bidrag af grovere dele i et materiale; bevægelsestærsklen er bestemt ved krybningstærsklen. Dominerer det jordtypen, vil fygningens vedligeholdelse kræve storm eller stærk kuling. Suspension kan ikke forekomme ved marker inde i landet, hvis grovsandet er fygningens materiale.

Gruset (1—8 mm) kan kun bevæges, hvis det udgør en mindre del af fygejorden, og da ved at krybe. Her ses bort fra de katastrofeagtige situationer, hvorved en kortvarig grusfygning kan opstå. Krybningen kan etableres ved moderate vinde, blot fygesandet er i aktion. Efter en fygningdag er mange marker dækket af beskyttende grus og sten; men belægningen hindrer ikke en eventuel transit af sand fra naboarealer under en kuling; sandet hopper fortrinligt hen over den hårde flade.



Sten er ubevægelige.

Hvis man ønsker at beskytte sin mark mod vinderosion, kan dette bl. a. ske ved at fremkalde en jordstruktur, som består af stabile fragmenter større end  $\frac{1}{2}$  mm. Fragmenter, hvis ækvivalente størrelse er mere end 2 mm, yder en god beskyttelse mod lokal afblæsning.

#### **Sammenfatning og konklusion.**

I tillæggets formler og tabeller samt i tekstens figurer er givet et instrument til brug ved kvantitative overslag over de vindstyrker, som kan fremkalde jordfygning på en given lokalitet. Man kan ved hjælp af de anførte oplysninger forudsige, hvorledes en bestemt marks jord vil opføre sig, hvis man kender vindstyrken i flere højder nær (10 cm over) jorden, overfladens stabile fragmenter, samt disses vægtfylde.

Fragmenter mindre end  $\frac{1}{10}$  mm vil meget hurtigt flyve bort for stedse, ind i skove og byer, ud over havet. Materiale, som i gennemsnit svarer til  $\frac{1}{4}$  mm kvartskorn, vil hurtigt og let danse hen over marker og veje, det vil ophobes i grøfter og hegn. Gruset kravler langsomt hen over marken. Stenene, hvis de findes, forbliver tilbage som et lokalt dække, der dog kan tillade passage af fygesand. Vinden udøver en overordentlig effektiv materialsortering, som ved at gentages bliver en trusel mod landbruget. På gode, lette jorde er sorteringen en snigende, maskeret fare.

Beskyttelse af marker skal foregå, set fra et geodynamisk synspunkt, ved at reducere vindstyrken i den kritiske højdezone: 0—10 cm, og ved at skabe stabile, grove jordfragmenter. Vinden kan reduceres ved at bruge stribe-kultivering, anlægge hegn og ikke mindst ved at skabe en ru og meget ujævn markflade. Sammenkitningen af jorden i grovfragmenter fremkaldes ved behandlingsmåder, som vi er inkompetente til at angive. Desværre kommer ønsket om et godt såbed tit i kamp med behovet for en vindstabil jordstruktur; måske vil det i det lange løb være bedre med et lidt ringere såbed i visse dele af landet. Om det overhovedet er rentabelt eller økonomisk forsvarligt at have finsandede fygningsjorde i omdrift, skal ikke diskuteres her.

#### **Tillæg.**

De fleste af de nedenstående formler har tidligere været trykt i Geografisk Tidsskrift, men for at artiklen skal udgøre en brugbar helhed, er de anført påny. Tillægget rummer de teoretiske modeller, som er brugbare ved beregning af de for jordfygningen kritiske vindstyrker, se iøvrigt den egentlige tekst.

*Tabel T.VII.*  
Suspensionstærskler udtrykt ved hastighedsprofilet.

d mm	0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$v_{\text{sus}}(10)$ m/sek	0,9	2,8	6,8	8,9	11	16	28	67	90
$V_{*s\text{us}}$ cm/sek	4	16,5	51	72	97	153	290	455	650

Formel 3 benyttet.

### LITERATUR

- Bagnold, R. A.* (1954): The physics of blown sand and desert dunes. 265 p. London.
- Chepil, W. S.* (1945 og 1946): Dynamics of wind erosion. Soil Science 60-61. Baltimore.
- Danmarks Klima (1933): Udg. af Det danske meteorologiske Institut. København.
- Dapples, E. C.* (1959): Basic geology for science and engineering. 609 p. New York.
- Jensen, Martin* (1954): Shelter effect. 264 p. København.
- Jensen, Martin* (1955): Lærvirkning. 94 p. (Det danske Hedeselskab). Viborg.
- Jensen, Martin* (1958): The model-law for phenomena in natural wind. Ingeniøren - International Edition - 2:4, p. 121-128. København.
- Kuhlman, H.* (1957 a): Sandflugt og klitdannelse. Geogr. Tidsskr. 56, p. 1-19. København.
- Kuhlman, H.* (1957 b): Kornstørrelser i klit- og strandsand. Geogr. Tidsskr. 56, p. 20-56. København.
- Kuhlman, H.* (1958): Quantitative measurements of aeolian sand transport. Geogr. Tidsskr. 57, p. 51-74. København.
- Kuhlman, H.* (1960): Microenvironments in a Danish dune area, Råbjerg Mile. Medd. Dansk Geol. Foren. 14, p. 253-258. København.
- Nielsen, Niels* (1960): Vinderosion og afblæsning i Danmark. Jydsk Landbrug 42:19, p. 287-288. Århus.
- Zingg, A. W.* (1953): Wind-tunnel studies of the movement of sedimentary material. State Univ. of Iowa, Studies in Engin. Bull. 34, p. 111-135. Iowa City.

Sten er ubevægelige.

Hvis man ønsker at beskytte sin mark mod vinderosion, kan dette bl. a. ske ved at fremkalde en jordstruktur, som består af stabile fragmenter større end  $\frac{1}{2}$  mm. Fragmenter, hvis ækvivalente størrelse er mere end 2 mm, yder en god beskyttelse mod lokal afblæsning.

#### **Sammenfatning og konklusion.**

I tillæggets formler og tabeller samt i tekstens figurer er givet et instrument til brug ved kvantitative overslag over de vindstyrker, som kan fremkalde jordfygning på en given lokalitet. Man kan ved hjælp af de anførte oplysninger forudsige, hvorledes en bestemt marks jord vil opføre sig, hvis man kender vindstyrken i flere højder nær (10 cm over) jorden, overfladens stabile fragmenter, samt disses vægtfylde.

Fragmenter mindre end  $\frac{1}{10}$  mm vil meget hurtigt flyve bort for stedse, ind i skove og byer, ud over havet. Materiale, som i gennemsnit svarer til  $\frac{1}{4}$  mm kvartskorn, vil hurtigt og let danse hen over marker og veje, det vil ophobes i grøfter og hegn. Gruset kravler langsomt hen over marken. Stenene, hvis de findes, forbliver tilbage som et lokalt dække, der dog kan tillade passage af fygesand. Vinden udøver en overordentlig effektiv materialsortering, som ved at gentages bliver en trusel mod landbruget. På gode, lette jorde er sorteringen en snigende, maskeret fare.

Beskyttelse af marker skal foregå, set fra et geodynamisk synspunkt, ved at reducere vindstyrken i den kritiske højdezone: 0—10 cm, og ved at skabe stabile, grove jordfragmenter. Vinden kan reduceres ved at bruge stribe-kultivering, anlægge hegn og ikke mindst ved at skabe en ru og meget ujævn markflade. Sammenkitningen af jorden i grovfragmenter fremkaldes ved behandlingsmåder, som vi er inkompetente til at angive. Desværre kommer ønsket om et godt såbed tit i kamp med behovet for en vindstabil jordstruktur; måske vil det i det lange løb være bedre med et lidt ringere såbed i visse dele af landet. Om det overhovedet er rentabelt eller økonomisk forsvarligt at have finsandede fygningsjorde i omdrift, skal ikke diskuteres her.

#### **Tillæg.**

De fleste af de nedenstående formler har tidligere været trykt i Geografisk Tidsskrift, men for at artiklen skal udgøre en brugbar helhed, er de anført påny. Tillægget rummer de teoretiske modeller, som er brugbare ved beregning af de for jordfygningen kritiske vindstyrker, se iøvrigt den egentlige tekst.

$$v(z) = 5,75 V_* (\log_{10} z - \log_{10} z_0) \quad z \geq z_0 \quad 1.$$

$v(z)$  = middelvindhastigheden i højden  $z$  over en ensartet, fast overflade.

$V_*$  = friktionshastigheden =  $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ , hvor  $\rho$  er luftens vægtfylde og  $\tau_0$  vindens tangentielle træk i overfladen.

$z_0$  = den for en given overflade konstante højde, i hvilken hastigheden er nul.  $z_0$ , ruhedsparemeteren, som er et mål for turbulensen, afhænger af overfladeujævnhedernes art og fordeling.

Det er en forudsætning for 1., at vinden er en turbulent strøm; dette er tilfældet i naturen.

Ved meget ru overflader, f. ex. kornmarker, må vinden beskrives ved en empirisk modifikation af 1.

$$v(z) = 5,75 V_* (\log_{10} (z-D) - \log_{10} z_0) \quad z \geq z_0 + D \quad 2.$$

$D$  = den nødvendige nulpunktforskydning af højdeskalaen; den afhænger også af ruhedselementernes art.

Hvis en overflade består af fygemodne partikler alene, vil den mobile flades vind kunne angives ved formel 3 (jævnfør *Bagnold*).

$$v(z) = 5,75 V_* (\log_{10} z - \log_{10} k') + Vt \quad z \geq k' \quad 3.$$

$Vt$  er hastigheden i højden  $k'$ . Disse to størrelser er for en bestemt overflade konstant for alle vindstyrker, og talparret  $(Vt, k')$  betegner focus for alle hastighedsprofiler målt over den mobile, »levende« flade.

$$h(x) = z_0^{0,2} \cdot 0,341 \cdot x^{0,8} \quad 2 \cdot 10^3 < \frac{x}{z_0} < 5 \cdot 10^5 \quad 4.$$

$h(x)$  er den højde, til hvilken  $z_0$  for en given, fast overflade præger vindprofilen (1.) i afstanden  $x$  fra overfladens lukkant (*Martin Jensen*).

Hvis  $z_0$  i formel 1 sættes til 0,03 cm, kan formel 4 give tabel T.I:

*Tabel T.I.*  
Overfladevindens »højde« i afstanden x fra luv.

x meter	2	5	10	20	100
h(x) meter	0,12	0,24	0,42	0,74	2,68

$$z_0 = 0,03 \text{ cm}$$

$$V_{*t} = A \cdot \sqrt{\frac{\sigma - \rho}{\rho} \cdot g \cdot d} \quad 5.$$

$V_{*t}$  er den mindste friktionshastighed, som starter fygningen (»starttærsklen«) af løst materiale, som kan repræsenteres ved korndiameteren  $d$ .  $\sigma$  er det kornede materiales vægtfylde.  $\rho$  er luftens vægtfylde.  $g$  er stedets tyngdeacceleration.  $A$  er en empirisk proportionalitetsfaktor, som siges (Chepil) at være konstant = 0,1 for  $d > 0,10$  mm. Hvis  $d$  aftager under 0,10 mm, stiger  $A$ 's værdi kraftigt på en ikke nærmere fastsat måde.

Hvis man indsætter i 5.  $g = 982$  cm/sek,  $\rho = 1,22 \cdot 10^{-3}$   $\sigma = 2,65$  eller 1,3, og lader  $d$  variere, kan følgende tabel T.II udregnes.  $V_{*t}$  for  $d = 0,05$  er ikke beregnet, men lånt fra Bagnold.

*Tabel T.II.*  
Starttærskel udtrykt ved friktionshastighed.

d mm			0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00	2,00
$V_{*t}$	$\sigma = 2,65$	cm/sek	20	14,5	21	23	25	29	36	41	46	65
	$\sigma = 1,3$		14	10	14	16	18	20	25	29	32	45,5

$$z_0 = 8,1 \cdot 10^{-3} \cdot \log \frac{d}{0,018} \quad d \geq 0,020 \text{ cm} \quad 6.$$

Tabel T.III.

 $z_0$  værdier for immobil overflade med kornene: d

d mm	(0,05)	(0,10)	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$z_0$ cm · 10 <sup>3</sup>	(0,1)	(0,3)	0,4	1,2	1,8	2,8	4,2	5,2	6,0

Tabel T.III's værdier for d = 0,05 mm og 0,10 mm er skønnet.

Tabel T.IV.

Starttærskler udtrykt ved hastigheden i 10 cm's højde

d mm			0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$v_t$ (10)	$\sigma = 2,65$	m/sek	5,75	3,8	5,25	5,25	5,45	5,95	6,9	7,8	8,6
	$\sigma = 1,3$		4,0	2,7	3,7	3,7	3,8	4,2	4,9	5,5	6,0

Bør sammenholdes med T.II og T.III.

$$\left. \begin{array}{l} V_t = 20 d \text{ mm i} \\ k' = 10 d \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{miles/hour} \\ d \geq 0,20 \text{ mm} \end{array} \quad 7.$$

Tabel T.V.

Koordinater for hastighedsprofilernes focus over »levende« kornflade.

d mm	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
k, cm	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,0
$V_t$ m/sek	0,9	1,8	2,2	2,7	3,6	5,4	7,2	8,9

Zingg's formel (7).

Tabel T.VI.

Saltationstærskler udtrykt ved hastigheden i standardhøjde 10 cm og friktionshastigheden; d. v. s. hastighedsprofilen.

d mm			0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$\sigma = 2,65$	$V_{*ts}$	cm/sek	14	16,5	18,5	20	23	29	33	37
	$v_{ts}(10)$	m/sek	2,5	3,4	3,9	4,5	5,5	7,4	9,2	11,1
$\sigma = 1,3$	$V_{*ts}$	cm/sek	10	12	13	14	16	20	23	26
	$v_{ts}(10)$	m/sek	2,0	2,9	3,4	3,9	4,9	6,8	8,6	10,4

*Tabel T.I.*  
Overfladevindens »højde« i afstanden x fra luv.

x meter	2	5	10	20	100
h(x) meter	0,12	0,24	0,42	0,74	2,68

$$z_0 = 0,03 \text{ cm}$$

$$V_{*t} = A \cdot \sqrt{\frac{\sigma - \rho}{\rho} \cdot g \cdot d} \quad 5.$$

$V_{*t}$  er den mindste friktionshastighed, som starter fygningen (»starttærsklen«) af løst materiale, som kan repræsenteres ved korndiameteren  $d$ .  $\sigma$  er det kornede materiales vægtfylde.  $\rho$  er luftens vægtfylde.  $g$  er stedets tyngdeacceleration.  $A$  er en empirisk proportionalitetsfaktor, som siges (Chepil) at være konstant = 0,1 for  $d > 0,10$  mm. Hvis  $d$  aftager under 0,10 mm, stiger  $A$ 's værdi kraftigt på en ikke nærmere fastsat måde.

Hvis man indsætter i 5.  $g = 982$  cm/sek,  $\rho = 1,22 \cdot 10^{-3}$   $\sigma = 2,65$  eller 1,3, og lader  $d$  variere, kan følgende tabel T.II udregnes.  $V_{*t}$  for  $d = 0,05$  er ikke beregnet, men lånt fra Bagnold.

*Tabel T.II.*  
Starttærskel udtrykt ved friktionshastighed.

d mm			0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00	2,00
$V_{*t}$	$\sigma = 2,65$	cm/sek	20	14,5	21	23	25	29	36	41	46	65
	$\sigma = 1,3$		14	10	14	16	18	20	25	29	32	45,5

$$z_0 = 8,1 \cdot 10^{-3} \cdot \log \frac{d}{0,018} \quad d \geq 0,020 \text{ cm} \quad 6.$$

Tabel T.III.

 $z_0$  værdier for immobil overflade med kornene: d

d mm	(0,05)	(0,10)	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$z_0$ cm · 10 <sup>3</sup>	(0,1)	(0,3)	0,4	1,2	1,8	2,8	4,2	5,2	6,0

Tabel T.III's værdier for d = 0,05 mm og 0,10 mm er skønnet.

Tabel T.IV.

Starttærskler udtrykt ved hastigheden i 10 cm's højde

d mm			0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$v_t$ (10)	$\sigma = 2,65$	m/sek	5,75	3,8	5,25	5,25	5,45	5,95	6,9	7,8	8,6
	$\sigma = 1,3$		4,0	2,7	3,7	3,7	3,8	4,2	4,9	5,5	6,0

Bør sammenholdes med T.II og T.III.

$$\left. \begin{array}{l} V_t = 20 d \text{ mm i} \\ k' = 10 d \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{miles/hour} \\ \\ \end{array} \quad d \geq 0,20 \text{ mm} \quad 7.$$

Tabel T.V.

Koordinater for hastighedsprofilernes focus over »levende« kornflade.

d mm	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
k, cm	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,0
$V_t$ m/sek	0,9	1,8	2,2	2,7	3,6	5,4	7,2	8,9

Zingg's formel (7).

Tabel T.VI.

Saltationstærskler udtrykt ved hastigheden i standardhøjde 10 cm og friktionshastigheden; d. v. s. hastighedsprofilen.

d mm			0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$\sigma = 2,65$	$V_{*ts}$	cm/sek	14	16,5	18,5	20	23	29	33	37
	$v_{ts}(10)$	m/sek	2,5	3,4	3,9	4,5	5,5	7,4	9,2	11,1
$\sigma = 1,3$	$V_{*ts}$	cm/sek	10	12	13	14	16	20	23	26
	$v_{ts}(10)$	m/sek	2,0	2,9	3,4	3,9	4,9	6,8	8,6	10,4



*Tabel T.VII.*  
Suspensionstærskler udtrykt ved hastighedsprofilen.

d mm	0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
$v_{\text{sus}}(10)$ m/sek	0,9	2,8	6,8	8,9	11	16	28	67	90
$V_{*s\text{us}}$ cm/sek	4	16,5	51	72	97	153	290	455	650

Formel 3 benyttet.

### LITERATUR

- Bagnold, R. A.* (1954): The physics of blown sand and desert dunes. 265 p. London.
- Chepil, W. S.* (1945 og 1946): Dynamics of wind erosion. Soil Science 60-61. Baltimore.
- Danmarks Klima (1933): Udg. af Det danske meteorologiske Institut. København.
- Dapples, E. C.* (1959): Basic geology for science and engineering. 609 p. New York.
- Jensen, Martin* (1954): Shelter effect. 264 p. København.
- Jensen, Martin* (1955): Lærvirkning. 94 p. (Det danske Hedeselskab). Viborg.
- Jensen, Martin* (1958): The model-law for phenomena in natural wind. Ingeniøren - International Edition - 2:4, p. 121-128. København.
- Kuhlman, H.* (1957 a): Sandflugt og klitdannelse. Geogr. Tidsskr. 56, p. 1-19. København.
- Kuhlman, H.* (1957 b): Kornstørrelser i klit- og strandsand. Geogr. Tidsskr. 56, p. 20-56. København.
- Kuhlman, H.* (1958): Quantitative measurements of aeolian sand transport. Geogr. Tidsskr. 57, p. 51-74. København.
- Kuhlman, H.* (1960): Microenvironments in a Danish dune area, Råbjerg Mile. Medd. Dansk Geol. Foren. 14, p. 253-258. København.
- Nielsen, Niels* (1960): Vinderosion og afblæsning i Danmark. Jydsk Landbrug 42:19, p. 287-288. Århus.
- Zingg, A. W.* (1953): Wind-tunnel studies of the movement of sedimentary material. State Univ. of Iowa, Studies in Engin. Bull. 34, p. 111-135. Iowa City.