

En undersøgelse af sneens vandækvivalent vinteren 1969-70

Af Bent Hasholt

Motto: „Hvor er den sne,
som faldt i fjor?“.

Abstract

Investigations have been made in the drainage area of the river Vidå, Southern Jylland, with the purpose of determining the water equivalent of snow. The sampling equipment and the methodology for determination of snow density were adapted to Danish conditions due to the normally rather thin snow cover. The sampling plan (a two-stage random sample) was worked out on the basis of results from a preliminary snow survey in the Stevns area, Eastern Sjælland. A total of four snow surveys were performed, hereof the two smaller ones at Stevns. The results have been treated statistically and compared with records from the climatological stations of the Meteorological Institute. The snow melt, computed from the formula used by the U.S. Army Corps of Engineers has been compared with the water equivalent of the snow cover and discharge values for the station Grønå, processed by the Hydrometric Department of the Danish Heath Society.

Formål

Undersøgelsen blev iværksat fordi man, udfra en igangværende undersøgelse af den forsvarlige reservoirstørrelse i Vidåens opland, skønnede, at de tilgængelige meteorologiske oplysninger, hvad sne-
nedbøren angik evt. kunne være utilstrækkelige.

Det primære formål med undersøgelsen er at bestemme den vandmængde, som opmagasineres i snedækket i løbet af vinteren. Da sådanne målinger ikke tidligere er foretaget på Stevns og i Vidå-området, sammenlignes resultaterne med klimatologiske og hydrologiske målinger dels som gensidig kontrol og dels for at finde den bedste anvendelse af klimatiske data til bestemmelse af sneens vandækvivalent i områderne. Der er foretaget undersøgelser af sneens smeltning, fordi en hurtig smeltning af sneen evt. kunne være farlig for reservoiret. Endvidere giver undersøgelsen anledning til en vurdering af snetakseringsmetoder.

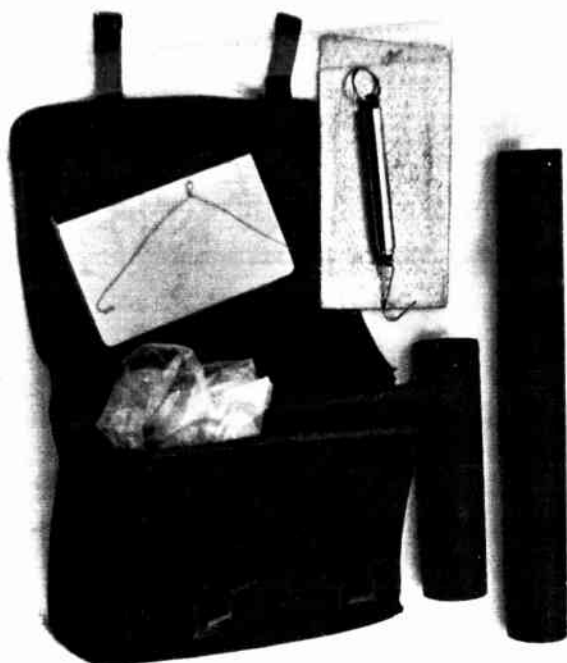


Fig. 1. Måleudstyr.

Fig. 1. Measuring equipment.

Måleudrustning

Udrustningen består af følgende dele (fig. 1):

- | | |
|---|---|
| 1 lineal 40-50 cm med start ved 0. | 1 vejbøjle til røret. |
| 1 rør indv. diam. ca. 60 mm,
længde 25 cm, vægt ca. 116 g. | 1 galvaniseret jernplade
200 × 150 × 1,5 mm. |
| 1 rør indv. diam. ca. 60 mm,
længde 50 cm.
(medtages om nødvendigt) | 1 vandtæt plasticpose. |
| Røret består af plastic, i den ene
ende er kanten slebet skarp, dette
giver den bedste rumfangs-
bestemmelse (Beaumont, 1966). | 1 feltspade til gravning og støtte
for vægten. |
| Røret behøver ingen indvendig
coating. | 1 rutekort. |
| 1 fjedervægt, kapacitet 500 g,
inddeling 5 g. | 1 kompas. |
| | 1 målebog. |
| | 1 instruktion. |
| | 1 taske. |
| | Vægt ca. 2 kg. |

Snedækket i Danmark er, bortset fra snedriver, af relativ ringe mægtighed. Det almindeligt anvendte amerikanske Mount Rose snetakseringsudstyr antages at være mindre velegnet til så små snedybder, som der her er tale om, dels på grund af skærefladen (*Beaumont*, 1966) og dels på grund af den ret lille rørdiameter (ca. 36 mm). Det blev derfor besluttet at sammensætte et snetakseringsudstyr som kunne opfylde følgende krav:

- 1) Alle måleoperationer skulle kunne udføres i marken.
- 2) Apparaturet skulle være så simpelt, at det kunne betjenes af ikke-teknisk personale.
- 3) Vægten skulle være mindst mulig og omkostningerne rimelige.

Som måleprincip vælges vejning af et kendt rumfang sne udtaget med et rør. Vejningen foregår med en fjedervægt.

Måling af snehøjde, densitet og vandækvivalent

Måleteknikken er tillempet efter *Snow Survey Sampling Guide*, U.S. Soil Conservation, Handbook, 1953. Når observatøren har fundet målepunktet, måles snedybden med linealen, der foretages en gravning langs linealen for at kontrollere om jordoverfladen er nået, herved fås samtidig et indblik i profilet. Hullet udvides så meget, at pladen kan skubbes ind langs jordoverfladen så tæt ved denne som muligt (i reglen 0,5–1,0 cm). Denne fremgangsmåde kan kritiseres, fordi sneen tæt ved jordoverfladen ikke kommer med i prøvevoluminet. Ved den amerikanske metode drives røret lidt ned i underlaget og proppen af jord og blade renses ud med en kniv. Overgangen mellem jord og sne (vegetation og sne) er imidlertid sjældent jævn, det er derfor vanskeligt at bestemme snesøjlets længde. Pladen giver derimod en fast referenceflade, og når snedybden er stor, vil fejlen, der begås, når man tildeler sneen ved jordoverfladen samme densitet som den øvrige søjle, være lille. Hen på vinteren har der flere steder været centimetertykke islag i bunden af snelaget. Det ovenliggende snelag måles for sig, medens islagets tykkelse måles og vandækvivalenten beregnes ud fra en formodet densitet på 0,7 g/cm³. Der udtages med røret en prøve af snelaget (fig. 2); prøven og røret vejes, der aflæses med skønnet 1 g's nøjagtighed, idet forsøg har vist, at vægtens nøjagtighed tillader dette. Snesøjlets længde måles fra sneoverfladen til pladen, når røret med prøven er fjernet, fordi prøven i røret ofte er sammen-



Fig. 2. Måling af snedybde og densitet.

Fig. 2. Measuring of the snow depth and snow density.

presset lidt. Alle længder måles med mm's nøjagtighed. Hvis prøvens vægt er mindre end 100 g, samles flere prøver fra samme sted i plasticposen indtil ca. 100 g er nået. Vægt og samlet søjlehøjde noteres. Udfra ovennævnte tal beregnes densitet og vandækvivalent af snesøjlen på målestedet.

Ubestemthed på længdemåling	± 2 mm
Vægt ubestemthed	± 2 g
Rørtværsnit ubestemthed	± 0,2 mm

Det antages, at søjlen er 100 mm, snehøjden 105 mm og prøvevægt 100 g. Udfra ubestemtheden på en sammensat måling er densitetens ubestemthed: $\sqrt{0.7^2 + 2^2 + 2^2} = \text{ca. } 3\%$ og vandækvivalentens ubestemthed: $\sqrt{0.7^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2} = \text{ca. } 4\%$.

Dette er bekræftet i marken ved gentagne målinger på samme sted. Ovennævnte nøjagtighed er tilfredsstillende, det ses samtidig at den anvendte nøjagtighed på længdemålingen er påkrævet.

Prøveudtagningsteknik

Da forhåndsinformationerne var begrænsede, blev det i samråd med cand. stat. E. Kousgaard valgt at foretage en totrins random sample for at tilgodese de statistiske beregninger. Oplandsgrænsen til en vandføringsmålestation tegnes på et 1:100.000 kort forsynet med UTM net. Alle enkilometerkvadrater som skærer vandskellet regnes med til området, dette betyder en mindre arealtilvækst i

forhold til det faktiske oplandsareal (fig. 3 og 4). Kvadraterne nummereres, og det ønskede antal punkter udrækkes efter en random tabel (*F. Yates, 1965*). Punkterne overføres på rutekort i 1:25.000 og evt. detailskitser vedføjes. Inden for hvert kvadrat måles i et på forhånd bestemt antal punkter (her tre, om udvælgelsen se nedenfor). Afstanden mellem punkterne er sat til 50 m, ud fra en visuel vurdering af snedrivernes størrelse. Det er således tilstræbt, at ikke alle målepunkter i et kvadrat kommer til at ligge i samme snedrive. De tre punkter ligger i kvadratets SW hjørne og 50 m mod N og E fra hjørnet for at undgå indflydelse af en evt. vindorientering af sneen.

Det er vigtigt at tilfældigheden i udtagelsen overholdes i marken, der er derfor udarbejdet en omhyggelig instruks til observatørerne.

Da vejnettet i Danmark er godt udbygget og som regel farbart størstedelen af vinteren, bortset fra perioder med stærk fygning, foregår transporten til målekvadratet i bil så langt frem som muligt. Observatøren har fået tildelt 7-10 målekvadrater og en fastlagt rute. Fra nærmeste farbare vej foregår transporten til fods frem til det nærmeste ved SW hjørnet liggende veldefinerede terrænpunkt. Herfra udtages kompasretningen til SW hjørnet, og afstanden findes ved afskridtning; skridtlængden er kontrolleret under sneforhold. De øvrige punkter findes ved kompasretning og afskridtning fra SW hjørnet. På denne måde vil kvadratets placering være fastlagt inden for \pm ca. 20 m; hvis der ikke findes gode fixpunkter i nærheden bliver usikkerheden selvsagt større. Samplingen er foretaget flere gange til de samme kvadrater på forskellige tidspunkter. På grund af usikkerheden i stedsbestemmelsen bliver målingen ikke foretaget nøjagtigt i samme punkt hver gang, det antages imidlertid at forskelle i målepunkternes placering vil udjævnes over alle kvadraterne. Ved amerikanske snetakseringer er målepunkternes placering fastlagt ved mærker i målepunktets umiddelbare nærhed. En sådan afmærkning af længere varighed er på grund af arealernes intensive udnyttelse ikke altid mulig i Danmark.

For at sikre sig mod eventuelle fejl i observatørens hukommelse, siger instruks, at målepunktet hver gang skal findes ved afskridtning og kompasretning. For ligeledes at undgå, at observatøren fastlægger den endelige placering skønsmæssigt (f. eks. i pløjemark), gælder den konvention, at målepunktet ligger en lineal-længde til højre for det punkt, hvor afskridtningen ender. Hvis målepunktet falder inden for bygninger, på veje eller unaturlige sneophobninger, flyttes punktet 50 m mod Øst. Som observatører an-

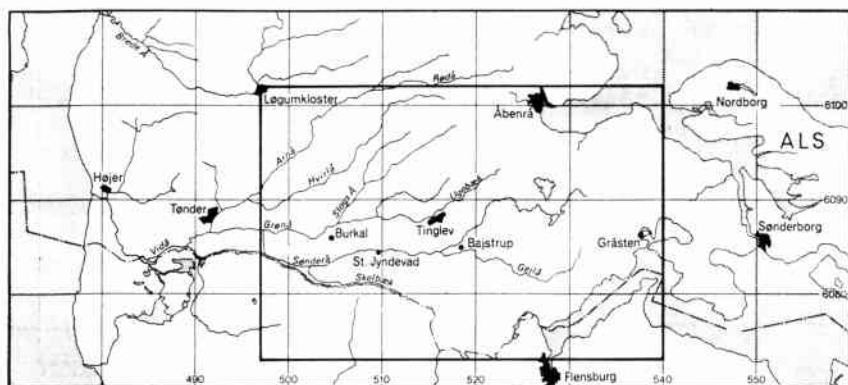


Fig. 3. Oversigtskort.

Fig. 3. Survey map.

vendtes gymnasieelever fra Tønder Statsskole. Adjunkt *B. Valeur* sammesteds har ydet uundværlig bistand ved feltarbejdets tilrettelæggelse.

Snetakseringerne blev i Stevns-området foretaget af forfatteren i slutningen af december og begyndelsen af marts.

For ikke at iværksætte den følgende snetaksering på et tidspunkt, hvor den i form af sne opmagasinerede vandmængde var ubetydelig, blev der efter målinger i februar etableret tre stationer i Vidå-området med daglige observationer af snehøjde og densitet.

Målingerne er foretaget om eftermiddagen. Målepunkterne blev lagt i kanten af en snedrive, således at ændringerne i snehøjde og densitet kunne følges under et tøbrud indtil størsteparten af sneen i området var borte. Afstanden fra en vandret overflige til sneoverfladen blev målt i tre punkter.

Densiteten målt så vidt muligt i samme højdeniveau af snedrive. Snetakseringerne i Vidå-området blev foretaget i begyndelsen af februar og i begyndelsen af marts, og der målt ved de daglige stationer frem til omkring den 19. marts, hvor der kun var is tilbage i driverne.

Bearbejdning af materialet

For alle målepunkter udregnes densitet og vandækvivalent. Som eksempel på enkeltpunktets afspejling af forholdene i målekvadratet kan nævnes følgende fra snetakseringen den 1. februar:

Målekvadrat UTM: 1776

Snehøjde: 110, 137 og 154 mm

Densitet: 0,36, 0,35 og 0,33 g/cm³

Vandækvivalent: 40, 48 og 50 mm.

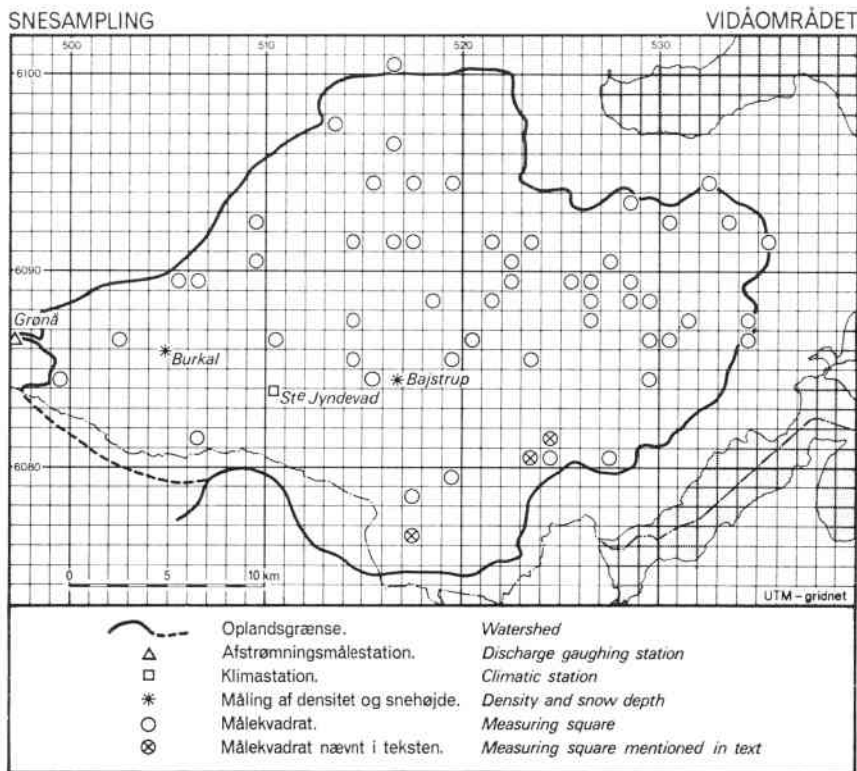


Fig. 4. Målekvadrater og øvrige målestationer i undersøgelsesfeltet.

Fig. 4. Sampling squares and other measuring stations in the investigation area.

Punkterne er alle beliggende i et åbent fladt område.

Resultaterne er ret ensartede, og den relativt høje densitet skyldes antagelig vindens pres.

Kvadrat UTM 2380 viser meget forskellige værdier:

Snehøjde: 357, 307 og 670 mm

Densitet: 0,28, 0,27 og 0,38 g/cm³

Vandækvivalent: 100, 82 og 252 mm.

Punkterne med lav densitet ligger vest for landevejen i et område med nyplantning med relativt læ, men ingen væsentlig interception. Punktet øst for landevejen ligger i en snedrive.

Endelig viser kvadrat UTM 2481 lave værdier for densitet og vandækvivalent:

Snehøjde: 57, 132 og 97 mm

Densitet: 0,28, 0,25 og 0,31 g/cm³

Vandækvivalent: 16, 33 og 30 mm.

Den lave densitet skyldes, at sneen er afsat i læ, skoven er her så høj og kraftig, at den lave vandækvivalent formodentlig skyldes interception.

Gennemsnit \bar{x}_{io} og standardafvigelse s_w af snehøjde, densitet og vandækvivalent beregnes pr. kvadrat. Derefter beregnes gennemsnit \bar{x}_{oo} og standardafvigelse s_b udfra samtlige kvadrater. De herved fremkomne gennemsnit er områdets gennemsnitlige værdi for snehøjde, densitet og vandækvivalent.

Vandækvivalent og snedybde angives i mm, og densiteten angives i g/cm^3 med 2 decimaler efter afrunding. Resultaterne er angivet i tabel 1 og 2. (Nr. 2893-3187 er målt d. 7/3).

På grundlag af snetakseringen på Stevns i december beregnedes n_o og m_o , når ubestemtheden på område-gns. (95 % konfidensinterval) af vandækvivalenten skulle være ± 3 mm. Det heraf følgende optimale antal punkter pr. kvadrat var 2-3, og det optimale antal kvadrater var 54. Snetakseringen i Vidåområdet blev derfor udført med dette antal målinger. Beregningerne (*Ernst Lykke Jensen*, 1960) er her vist for snetakseringen den 11. marts, jfr. symbolisten. Det ses, at variationen her er så stor, at et 95 % konfidensinterval på ± 3 mm ikke kan opnås med 54 kvadrater.

Vandækvivalent:

Gns. 61 mm	s_b 33,4	95 % konfidensinterval for gns.
	s_w 38,6	61 ± 10 mm eller ± 16 %

Densitet:

Gns. 0,25 g/cm^3	s_b 0,046	95 % konfidensinterval for gns.
	s_w 0,056	$0,25 \pm 0,013$ eller $\pm 5,5$ %

Snehøjde:

Gns. 224 mm	s_b 86,5	95 % konfidensinterval for gns.
	s_w 91,9	224 ± 25 mm eller ± 11 %

For at bestemme den bedste fordeling af målepunkter indsættes kendte værdier i nedenstående udtryk:

$C = c_1 \cdot m + c_2 \cdot m \cdot n$, som angiver det totale arbejdsforbrug i mand-dage. I de undersøgte områder er c_1 og c_2 fundet til henholdsvis ca. $1/24$ og ca. $1/96$ mand-dag for en øvet observatør.

Det optimale antal punkter pr. kvadrat findes af udtrykket:

$$n_o = \sqrt{\frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{\sigma_w}{\sigma_b}} \cong \sqrt{\frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{s_w^2}{s_b^2 \div n}}$$

Tabel 1.

Snetaksring i Vidå-området ca. 600 km²
(Snow survey in the Vidå Area)

Dato	1/2		11/3		1/2		11/3		1/2		11/3	
	gns. H ₂ O ækv. mm	H ₂ O sd. mm	gns. H ₂ O ækv. mm	H ₂ O sd. mm	gns. dens. g/cm ³	dens. sd.	gns. dens. g/cm ³	dens. sd.	gns. sne- højde mm	sne sd. mm	gns. sne- højde mm	sne sd. mm
9984	50.3	33.1	27.7	2.3	0.41	0.020	0.24	0.018	121	75	116	18
0286	24.7	3.1	36.0	7.5	0.30	0.048	0.22	0.041	81	4	164	23
0681	36.0	2.0	34.0	2.0	0.37	0.024	0.20	0.055	98	3	166	5
1086	18.0	7.5	42.7	18.5	0.21	0.025	0.21	0.021	89	45	195	62
0990	22.7	3.2	168.0	72.3	0.30	0.056	0.27	0.101	78	24	352	167
0992	35.3	11.9	41.7	6.7	0.32	0.066	0.19	0.016	100	10	189	7
0689	30.7	20.3	40.0	21.7	0.29	0.087	0.27	0.143	100	36	138	12
0589			48.7	7.5			0.20	0.021			191	12
1691	21.3	11.4	46.0	16.0	0.35	0.064	0.21	0.015	56	40	168	28
1491	21.7	6.1	22.0	7.9	0.26	0	0.17	0.013	72	44	128	45
1594	31.3	16.3	36.3	4.9	0.34	0.051	0.18	0.017	87	31	200	8
1794	61.7	21.0	47.7	17.2	0.30	0.028	0.20	0.048	203	55	232	28
1696	45.0	13.1	44.7	7.1	0.40	0.021	0.18	0.010	112	30	248	26
1600	30.3	6.1	56.7	6.4	0.37	0.040	0.19	0.001	82	8	293	32
1397	41.0	22.5	52.0	21.2	0.36	0	0.18	0.008	87	84	303	154
1890	20.7	7.4	24.3	4.9	0.30	0.042	0.23	0.039	67	17	104	3
1994	25.3	15.5	42.0	7.9	0.28	0.064	0.20	0.022	82	29	211	27
2191	73.0	48.8	130.0	110.0	0.30	0.023	0.30	0.087	238	151	390	230
2290	43.7	30.6	87.0	34.0	0.25	0.059	0.30	0.036	162	74	288	83
2391	52.3	10.2	60.7	11.9	0.25	0.057	0.28	0.084	215	63	242	100
2289	154.7	127.6	164.7	129.4	0.36	0.040	0.36	0.143	413	332	396	252
2188	28.7	4.5	27.0	2.6	0.27	0.024	0.20	0.010	107	17	138	6
2688	66.0	49.6	44.3	23.0	0.33	0.038	0.27	0.092	190	126	137	42
2687	57.3	38.1	72.3	42.2	0.36	0.100	0.25	0.066	144	76	219	120
2589	34.7	40.3	51.0	31.7	0.33	0.049	0.23	0.088	104	103	213	53
2689	30.7	13.0	33.7	7.6	0.33	0.088	0.23	0.018	91	17	147	43
2790	16.0	14.0	85.7	75.8	0.25	0.012	0.28	0.056	63	59	277	212
2889	28.7	31.5	84.0	45.5	0.28	0.041	0.28	0.079	98	94	263	103
2888		39.9	94.0	13.1	0.36	0.039	0.30	0.027	158	111	323	69
1584	72.3	57.1	96.3	20.6	0.29	0.055	0.22	0.027	246	160	363	21
1485	86.0	58.7	40.7	12.5	0.33	0.048	0.23	0.017	270	181	145	15
1487	33.3	21.9	35.7	2.1	0.31	0.028	0.21	0.048	73	20	170	61
1888	31.7	3.5	32.7	11.9	0.30	0.079	0.21	0.038	112	37	155	35
1985	42.0	22.6	33.7	13.3	0.31	0.065	0.24	0.018	138	68	122	51
2086	27.3	7.5	30.7	4.0	0.32	0.059	0.23	0.069	90	42	128	8
2385	46.0	9.8	38.7	19.1	0.35	0.012	0.25	0.055	131	29	115	18
3086	32.0	16.7	108.0	28.4	0.31	0.035	0.34	0.063	100	43	323	52
2986	13.7	6.4	41.3	10.1	0.29	0.090	0.23	0.061	47	24	170	23
2988	35.0	7.2	37.3	24.0	0.31	0.029	0.25	0.028	112	14	147	76
2380	145.0	97.7	136.3	60.9	0.31	0.059	0.32	0.040	444	197	417	149
2480	134.0	59.4	36.0	5.3	0.35	0.011	0.20	0.034	383	175	175	5
2481	26.3	9.3	89.3	44.5	0.28	0.030	0.27	0.073	95	38	321	109
2780	34.0	5.2	55.7	36.2	0.31	0.058	0.26	0.066	111	18	215	136
2984	29.7	13.1	111.7	21.2	0.30	0.045	0.29	0.011	99	38	389	84
1776	46.0	5.3	89.3	91.5	0.35	0.017	0.31	0.118	134	22	249	176
1778	57.3	11.0	64.0	15.5	0.34	0.038	0.33	0.042	152	15	191	23
1979	77.0	29.8	93.0	47.7	0.31	0.009	0.31	0.039	248	95	293	110
2893	33.3	13.6	57.3	18.0	0.32	0.046	0.39	0.103	105	35	132	36
3294	15.3	4.5	43.3	25.8	0.27	0.060	0.41	0.090	57	20	96	48
3692	40.3	2.5	52.3	12.7	0.27	0.023	0.31	0.017	150	21	171	40
3591	60.7	34.0	37.0	27.6	0.31	0.018	0.33	0.056	194	108	108	72
3392	36.3	7.8	43.3	33.5	0.31	0.066	0.31	0.082	118	25	132	56
3486	77.3	10.3	47.7	9.5	0.32	0.026	0.32	0.026	242	18	144	39
3487	52.0	24.3	84.3	22.0	0.24	0.009	0.32	0.023	213	81	262	58
3187	45.0	14.0	53.0	12.0	0.31	0.019	0.35	0.024	143	38	151	42
gns.	46.2		60.8		0.31		0.25		142.6		223.8	
s _b	30.0		33.4		0.039		0.046		86.5		86.9	
s _w	32.4		38.6		0.045		0.056		86.2		91.9	
d _f	4.08		4.87		0.005		0.007		11.78		12.70	
95 % konfidens- interval	± 8.16		± 9.74		± 0.011		± 0.013		± 23.56		± 25.40	
% af gns. m	± 18 54		± 16 47		± 3.4 54		± 5.5 47		± 16.5 54		± 11.4 47	

Tabel 2.

Snetaksering i Stevns-området ca. 350 km²
(Snow survey in the Stevns Area)

Dato		30/12	4/4	4/3	30/12	4/3	30/12	4/3	30/12	4/3			
Navn	Kvadrat nr.	gns. H ₂ O ækv. mm	Varia- tion bredde mm	gns. H ₂ O ækv. mm	Sd H ₂ O	gns. dens. g/cm ³	Varia- tion bredde g/cm ³	gns. dens. g/cm ³	Sd. dens.	gns. sne- højde mm	Varia- tion bredde mm	gns. sne- højde mm	Sd. sne
Børsted	16 G 29	36.4	6.0	54.3	36.67	0.24	0.005	0.27	0.004	160	20	199	132
Kanderød	16 B 03	23.0	2.0	33.3	7.50	0.23	0.013	0.27	0.025	100	0	121	18
Ingelstrup	16 A 62	35.4	25.0	27.7	14.22	0.23	0.044	0.24	0.012	150	80	113	51
Snaven	16 F 26	33.9	8.0	60.3	14.57	0.23	0.052	0.28	0.015	150	0	216	45
Viverup	16 F 95	43.2	32.0	17.3	4.04	0.27	0.054	0.36	0.040	155	90	49	10
Karise	16 G 76	40.2	8.0	84.0	51.0	0.24	0.007	0.33	0.030	165	30	245	134
Tågerup	16 G 62			50.3	47.60			0.35	0.081	130		130	94
Frølev	16 H 44			23.3	4.50			0.31	0.018	170 *	120	75	10
Hårlev	16 B 81	8.2	5.0	11.3	10.59	0.27	0.000	0.30	0.030	40	20	38	34
Vårpelev	16 C 01	14.8	19.0	20.3	13.20	0.25	0.029	0.37	0.018	63	85	54	34
Stroby	16 C 24			9.3	3.51			0.34	0.019	77 *	45	44	38
Gns.		29.3		35.6		0.24		0.31		122		117	
S _b		12.5		23.6		0.017		0.040		51		74	
S _w		11.8		25.2		0.007		0.033		38		70	
d _f		4.4		7.13		0.006		0.012		18.2		22.3	
95 % konfidens- interval		± 8.8		± 14.26		± 0.012		± 0.024		± 36.3		± 44.6	
% af gns. m		± 30		± 40		± 5		± 8		± 30		± 38	
		8		11		8		11		8		11	

* ikke medtaget i gns.

• not included in mean

•• n = 2

$V(x_{00}) = V_0$ vælges og indsættes sammen med øvrige kendte størrelser i udtrykket for det optimale antal kvadrater:

$$m_0 = \frac{s_w^2}{V_0 n_0} \left(1 + \frac{1}{n_0} \cdot \frac{c_1}{c_2} \right)$$

Hvis 95 % konfidensinterval på vandækvivalent, densitet og snehøjdegennemsnit sættes til henholdsvis ± 5 mm, ± 0.010 g/cm³ og ± 10 mm, fås de hertil svarende værdier af n_0 og m_0 :

	n_0	m_0
Vandækvivalent	3.1	177
Densitet	3.5	77
Snehøjde	2.7	311

Det ses at det optimale antal punkter pr. kvadrat er omtrent tre, som er anvendt i ovennævnte snetaksering. Hvis værdierne indsættes i udtrykket for arbejdskraftforbruget fås for måling af sneens vandækvivalent: C = 13 mand-dage, hvilket svarer til 13,6 kvadrater pr. mand pr. dag, hidtil bedste dagsresultat er 12 kvadrater pr. dag pr. mand.

Diskussion af resultaterne

Undersøgelsen viser, at det er muligt at bestemme de søgte størrelser med rimelig nøjagtighed med det anvendte udstyr. Resultaterne fra enkeltpunkterne stemmer godt overens med de observerede forhold på stedet. De daglige målinger fra de to stationer, som ligger i området, er vist på fig. 5, afbrydelser i målingerne skyldes dels sygdom og dels hærværk mod målestedet. Virkningen af det kraftige snefald d. 6-7/3 ses tydeligt, sneen modnes frem til d. 14/3, hvorefter tøbruddet begynder. Det størst målte fald i vandækvivalent for et enkelt døgn er 26 mm.

I tabel 1 og 2 vises resultaterne af målingerne i de enkelte kvadrater, samt områdegennemsnittene fra henholdsvis Vidåområdet, ca. 600 km² og Stevnsområdet, ca. 350 km². Kvadratbetegnelsen er i Vidåområdet UTM-nettet og i Stevnsområdet det gl. danske militærgridnet. Områdernes gennemsnit, udtrykket for standardafvigelsen inden for og mellem kvadraterne samt ubestemtheden på gennemsnittet er angivet under tabellerne. Tabellerne viser, at s_b og s_w er af samme størrelsesorden for henholdsvis snedybde, densitet og vandækvivalent. Dette kunne betyde, at mikromiljøets indvirkning på de målte størrelser er af samme størrelse som en eventuel klimatisk eller morfologisk regional forandring inden for områderne.

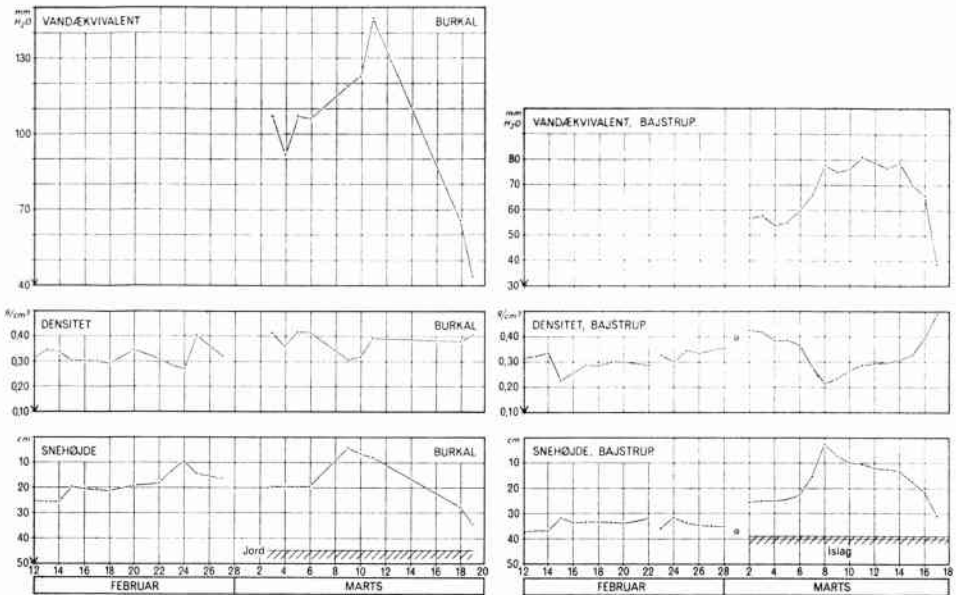


Fig. 5. Daglige måleresultater fra Bajstrup og Burkal.

Fig. 5. Daily records from Bajstrup and Burkal.

Det bemærkes, at s_b for alle målinger i Vidåområdet er mindre end eller lig s_w , medens det omvendte synes at være tilfældet på Stevns. Ovennævnte kan skyldes dels klimatiske og dels landskabs- og vegetationsmæssige forskelle mellem de to områder. Udfra iagttagelser af snedriveforekomst og -størrelse skønnes vinden at være af dominerende betydning for den store variation inden for et lille område. Forekomst af snefygning, ifølge kriterier angivet i (*Hirobumi ōura*, 1966), har været mulig 5-10 døgn i Vidåområdet. Jo senere en måling derfor er foretaget i løbet af vinteren, jo mere er den influeret af snefygningen; det ses også klart, at ubestemtheden på gennemsnittene er størst ved den sidste taksering.

Ved en undersøgelse af regionale mønstre er det vigtigt, at mikromiljøets variation ikke dominerer; målepunktet i en sådan undersøgelse må derfor lægges i et ensartet mikromiljø. Dette betyder også, at en vurdering af f. eks. områdets vandækvivalent ved hjælp af et isoliniekort tegnet udfra de her angivne kvadratværdier, vil være misvisende, da de ikke er beliggende i ensartet mikromiljø.

Ubestemtheden på områdegennemsnitsværdierne for de tre målestørrelser viser, at områdets gennemsnitsdensitet er væsentlig bedre bestemt end de øvrige størrelser. Ved at betragte områdets gennemsnitsvandækvivalent som målt ved en sammensat måling, kan ube-

stemthederne på vandækvivalenten bestemmes ud fra ubestemtheden på områdegennemsnittene for snehøjde og densitet. Begge disse størrelses ubestemthed kan bringes ned på 3-5 %, således at ubestemtheden på områdets vandækvivalent bliver 5-6 %. Densiteten måles i et passende antal punkter, målingerne foretages af øvet personale. For at nedbringe ubestemtheden på snehøjden tilsvarende kræves et betydeligt antal målepunkter. En sådan måling er imidlertid simpel i forhold til densitetsbestemmelsen og kan derfor overlades til lokale folk efter en kort instruktion.

I USA søger man ved hjælp af snetakseringsfelter at etablere en relation mellem snedækket på bestemte lokaliteter og den følgende snesmeltningstrømning. Det er ikke hensigten som her at måle den virkelige opmagasinerede vandmængde i nedbørsområdet. Ofte foretages 10-20 vandækvivalent-bestemmelser med en indbyrdes afstand på 50-100 feet; sådanne takseringsfelter udlægges for hver 100 sq-miles (ca. 250 km²) nedbørsområde. Adskillige af sådanne takseringsfelter ligger i svært tilgængelige områder og c_1 bliver derfor stor i forhold til c_2 , dette betyder igen at det optimale antal punkter pr. kvadrat (takseringsfelt) bliver større. Størrelsen af s_b og s_w viser usikkerheden, hvis en sådan taksering anvendes som et udtryk for den virkelige vandækvivalent i området. En undersøgelse (*Arnold Court, 1958*) af et snetakseringsfelt i USA, hvor der er målt i 21 år, viser at de enkelte målepunkters værdier estimerer feltets middelværdi \pm en afvigelse der er konstant for det enkelte målested og uafhængig af den aktuelle vandækvivalent. Det beregnes, hvilke enkeltpunkter der korrelerer bedst med takseringsfeltets vandækvivalent; et gennemsnit beregnet på grundlag af færre punkter, der viser god korrelation med områdegennemsnittet, vil være lige så pålideligt som et gennemsnit baseret på alle punkter i området. Hvis lignende konstante forhold mellem de enkelte kvadrater og områdegennemsnittet kunne findes i de her undersøgte områder, kunne man efter en årrække analogt med ovenstående nedskære antallet af kvadrater betydeligt uden at nedsætte pålideligheden af gennemsnittet.

Sammenligning med klimatiske data:

Resultaterne af snetakseringerne repræsenterer de bedste tilnærmelser til områdernes virkelige værdier for henholdsvis snedybde, densitet og vandækvivalent. Tilsvarende målinger findes ikke for andre vintre. En sammenligning mellem snetakseringerne og de relevante klimatiske målinger vil kunne vise den bedste anvendelse

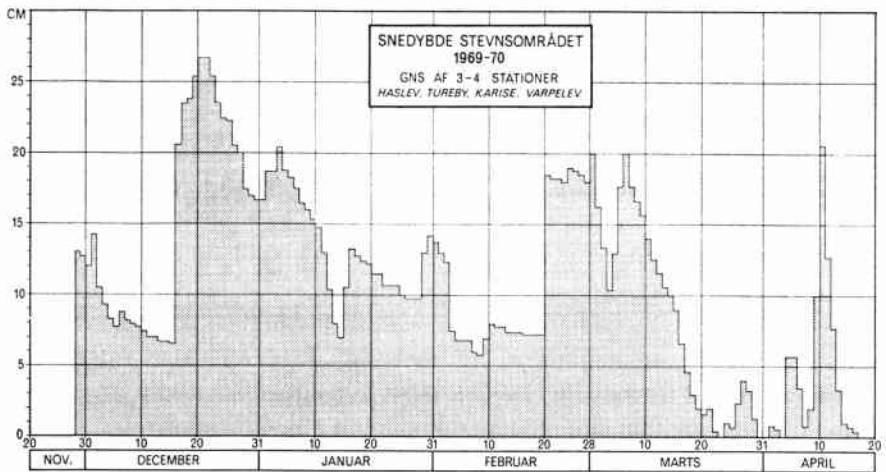


Fig. 6. Snedybde fra Stevns-området.
Fig. 6. Snow depth from the Stevns-area.

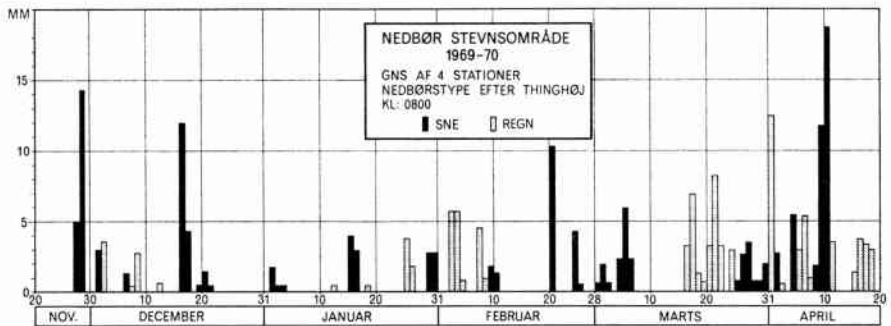


Fig. 7. Nedbør i Stevns-området.
Fig. 7. Precipitation recorded for the Stevns-area.

af disse til beregning af et områdes vandækvivalent. Hvis en rimelig beregning af vandækvivalenten kan gennemføres ud fra de klimatiske data, vil man kunne undersøge andre vintre og evt. finde sandsynligheden for ekstremt store vandækvivalenter.

Opygning af vandresevoiret i sneen:

Figurerne 6 og 7 viser snedybden og nedbøren på Stevns fra første til sidste snefald. Nedbørens størrelse er beregnet som gennemsnittet af 3-4 stationer, nedbørstype er angivet efter oplysninger fra klimastation Thinghøj. De klimatiske oplysninger er velvilligt stillet til rådighed af *Meteorologisk Instituts klimatologiske afdeling*. Sne- nedbøren dominerer fra november til midten af marts. Det største

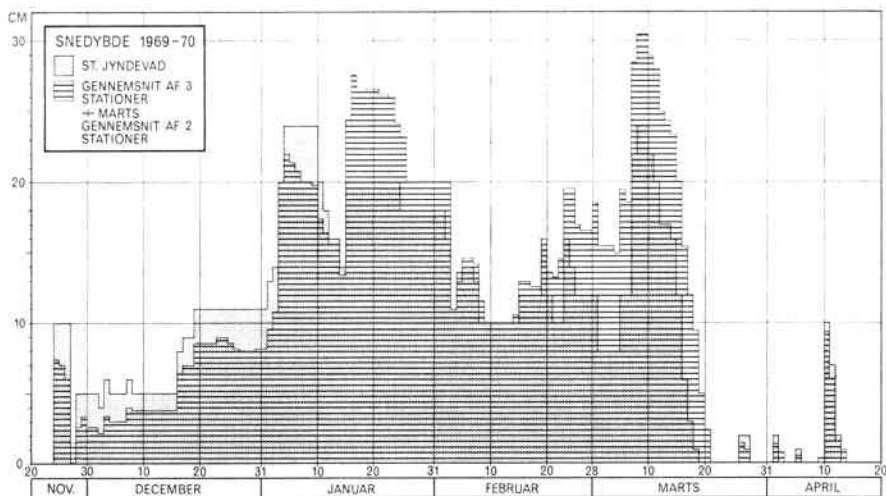


Fig. 8. Snedybde fra Vidå-området.
 Fig. 8. Snow depth from the Vidå-area.

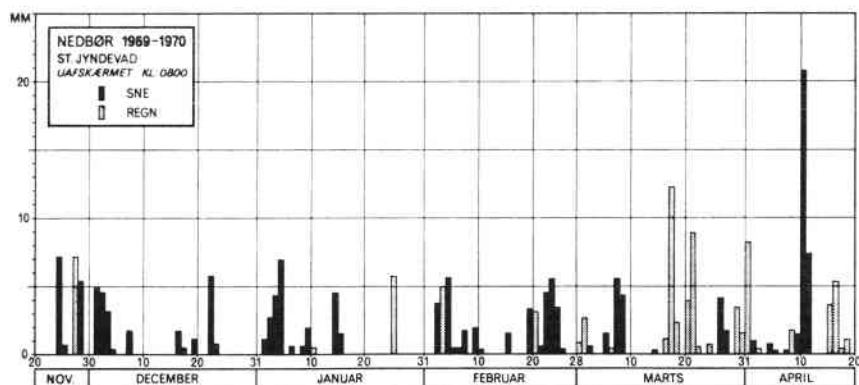


Fig. 9. Nedbør, St. Jynde vad.
 Fig. 9. Precipitation, St. Jynde vad.

snefald forekommer dog i april. Jorden er dækket af sne fra d. 29/11-69 til d. 24/3-70, sidste dag med snedække er d. 17/4-70. Største snedybde fås den 21/12-69. Fig. 8 og 9 viser de tilsvarende observationer fra St. Jynde vad klimastation og Vidåområdet. Det ses, at der ofte samtidig er nedbør i begge områder. Fordelingen af sne og regn ligner fordelingen på Stevns. Snehøjdens variation i tiden er noget forskellig fra Stevns, den første sne iagttages allerede d. 25/11 og vedvarer til d. 21/3. Snehøjden kulminerer så sent som d. 11/3, men er mindre end på Stevns i slutningen af marts og april. Kumulerede værdier af al nedbør og snednebør ses på fig. 13 og 14.

Bortgang af vand fra reservoiret i sneen:

Den i form af sne opmagasinerede vandmængde kan formindskes ved fordampning eller smeltning. Fordampning kan finde sted, når der er en damptryksgradient fra sneen til luften, dvs. når dugpunktet er lavere end sneens overfladetemperatur. *Ven Te Chow* (1964) angiver en omtrentlig fordampning til ca. 12 mm/md for mellembredderne i løbet af vinteren og det tidlige forår. Den potentielle fordampning efter *Penman* andrager 5-10 mm/md december-februar og 30-60 mm/md marts-april.

I perioder med smeltning vil den ved smeltning afgivne vandmængde dominere i forhold til den ved fordampning afgivne. Den totale snesmeltning $M = M_c + M_{co} + M_{rs} + M_{rl} + M_p + M_g$.

M_c er smeltning som følge af varmeudveksling mellem atmosfæren og sneen, M_{co} er smeltning ved kondensation af vanddamp på sneen, M_{rs} er smeltning ved kortbølget stråling, M_{rl} ved langbølget stråling, M_p er smeltning på grund af nedbør og M_g er smeltning på grund af ledning fra jorden.

U.S. Army Corps of Eng. har udviklet formler til beregning af snesmeltningen i et nedbørsområde udfra klimatiske data (*Ven Te Chow*, 1964). De her tilgængelige klimatiske oplysninger tillader kun anvendelse af formlen for smeltning i regnperioder, hvor smeltningen på grund af solstråling er relativ lille: $M = (0.029 + 0.0084 k \cdot v + 0.007 P_r) \cdot (T_a - 32) + 0.09$. Størrelsen $0.029 \cdot (T_a - 32)$ angiver smeltning på grund af langbølget stråling, og 0.09 er summen af smeltning på grund af kortbølget stråling og ledning fra jorden. Betydningen af de øvrige størrelser fremgår af symbollisten, alle mål er i engelske enheder.

De klimatiske data kan ikke umiddelbart anvendes i formlen. Områdefaktoren k er for begge områder sat til 0.7. Vindhastigheden er opgivet i Beaufort, gennemsnittet af vindhastigheden kl. 0800, 1400 og 2100 er beregnet som et udtryk for døgnmiddelvindhastigheden. De fundne hastigheder er omregnet til mph. i 50 feet udfra en vindprofil med en ruhedslængde på 1.0 cm, vindhastigheden kan også korrigeres ved multiplikation med $1.92 Z_b^{-1/6}$, hvor Z_b er målestedets højde over sneoverfladen, forskellen mellem de to korrektioner er ubetydelig. Vindhastigheden ved St. Jynde vad er vist i fig. 10.

Døgnmiddeltemperaturen (fig. 11) er beregnet udfra formlen $T_m = 0.5 (T_{max} + T_{min})$ og multipliceret med faktoren $1.47 \cdot Z_a^{-1/6}$, for at korrigere for forskellig målehøjde. På grundlag af temperaturen målt med vådt og tørt termometer kl. 0800 er luftfugtigheden

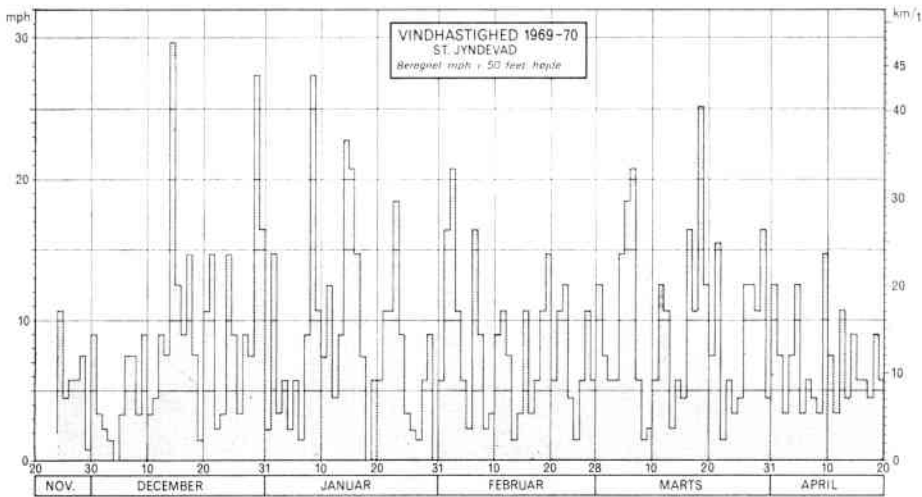


Fig. 10. Vindhastighed, St. Jynde vad.

Fig. 10. Wind speed, St. Jynde vad.

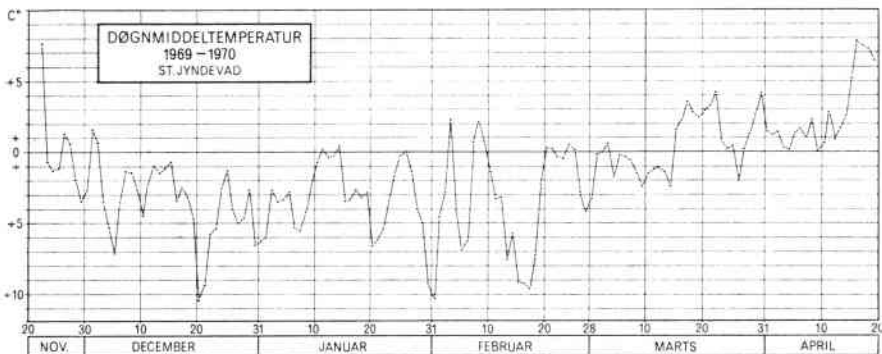


Fig. 11. Døgnmiddeltemperatur, St. Jynde vad.

Fig. 11. Diurnal mean temperature, St. Jynde vad.

beregnet i en psychometertabel. Luftfugtigheden kl. 0800 er anvendt sammen med T_m til beregning af døgnmiddeldugpunktstemperatur.

Nedbøren som indsættes i formen for døgnsmeltning, er den nedbør som er målt kl. 0800 i det følgende døgn, de øvrige døgnmiddelverdier antages at gælde for et døgn fra kl. 0000 til kl. 2400. Denne forskydning kan give anledning til mindre fejl i forhold til de virkelige forhold.

Der er udarbejdet et nomogram til beregning af snesmeltningen dels for at lette arbejdet og dels for at demonstrere de enkelte faktorerens virkning (fig. 12). Nomogrammet anvendes på følgende

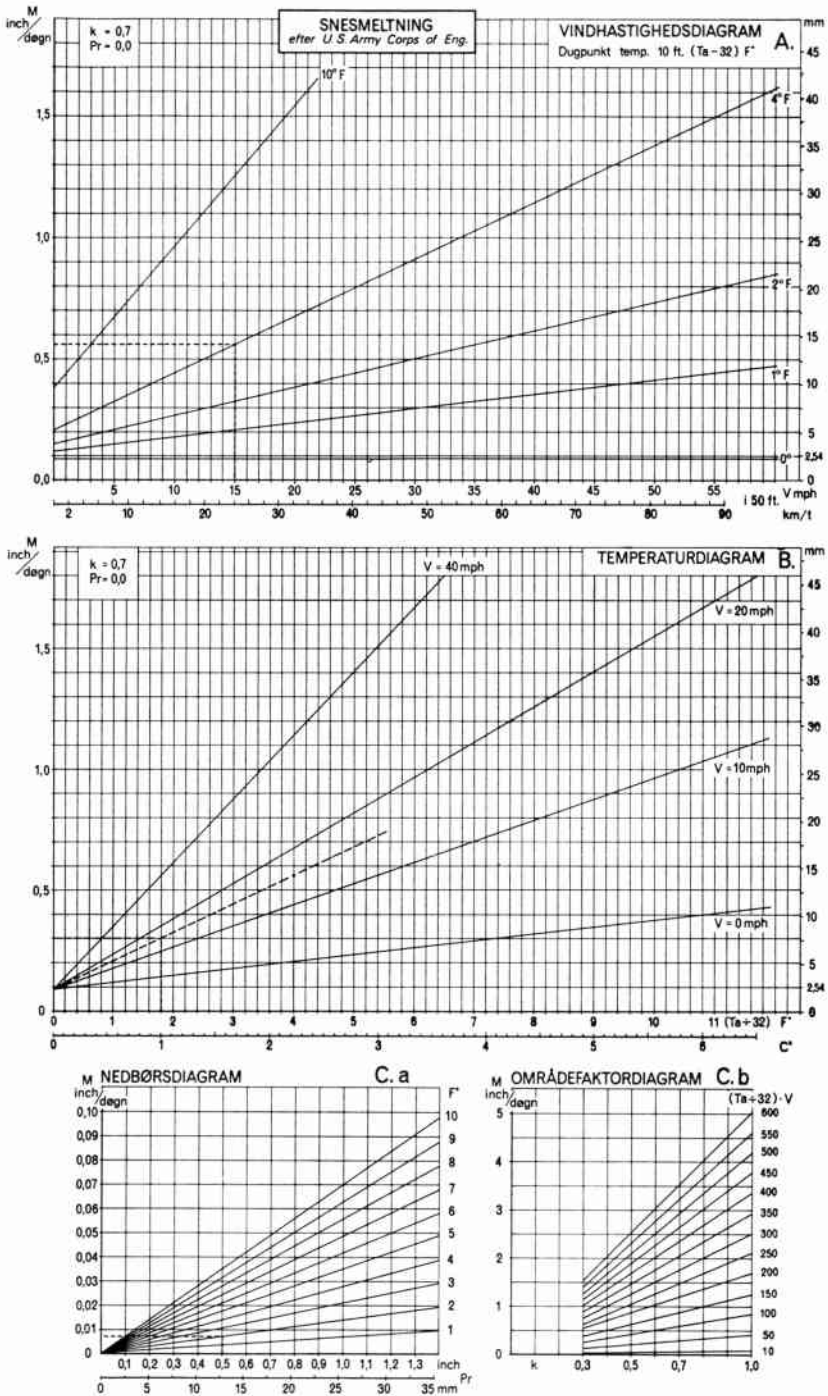


Fig. 12. Nomogram til beregning af snesmeltning.
 Fig. 12. Nomogram for calculation of snow melt.

måde: Den målte vindhastighed opsøges på diagram A, den til vindhastigheden svarende smeltning ved 4°F findes og indsættes i diagram B udfor 4°F . Der trækkes en forbindelseslinie fra det afsatte punkt til $M = 0.09$ på ordinataksen, på denne linie findes den til den målte temperatur svarende smeltning. I diagram C_a findes smeltningsbidraget fra nedbøren og lægges til ovennævnte. Diagram C_b angiver virkningen af en ændret k -værdi. Eksempel, se fig. 12: $v = 15$ mph, $T_a = 1.0^{\circ}\text{C}$ og $P_r = 12.7$ mm. $M = 0.300 + 0.007$ inch/døgn ≈ 7.8 mm/døgn. I perioder uden nedbør vil strålingsenergi udgøre det væsentligste bidrag til sneens smeltning; det må forventes at de her angivne mængder smeltevand, der er beregnet på grundlag af ovennævnte formel, kan afvige væsentligt fra den virkelige mængde. Dage med smeltning uden nedbør er derfor markeret på fig. 13 og 14, hvor beregnet smeltning er vist. Smeltningen er beregnet på grundlag af døgnmiddelværdier; på figurerne er angivet de dage, hvor T_{max} er større end 0, og hvor der derfor i løbet af døgnen er mulighed for smeltning, selv om T_m er mindre end 0°C . Målingerne af vandækvivalentændringerne på fig. 5 muliggør en sammenligning mellem beregnet og målt smeltning. Det skal her erindres, at formlen angiver en middelværdi for området, og at de målte størrelser er punktverdier for en atypisk lokalitet (snedrive). Punktverdierne i fig. 5 er større end den beregnede smeltning, men hvad størrelsesordenen angår er der rimelig overensstemmelse.

En anden måde til kontrol af den anvendte formel fås ved betragtning af fig. 13 og 14, hvor værdien af den akkumulerede sne-nedbør \div beregnet smeltning for de to områder er angivet. Sammenlignes denne kurve med de observerede snedybder, fig. 6 og 8, ses en god overensstemmelse mellem forløbet af de to kurver; det er endvidere bemærkelsesværdigt, at den målte snedybde er 0 når den beregnede værdi af snenedbør \div smeltning er 0, med få døgn afvigelse, der evt. kan forklares ved ovenstående betragtninger over døgnnedbørens forskydning i forhold til de øvrige døgnmiddelværdier. Alt taget i betragtning synes den anvendte formel at give et tilforladeligt billede af den aktuelle smeltning.

Anvendelsen af klimatiske data til bestemmelse af områdets vandækvivalent:

Den kumulerede værdi af al nedbør og nedbør i form af sne fra tidspunktet for første snefald er vist på fig. 13 og 14 ud fra målingen kl. 0800 den pågældende dato. Ved beregningen af snenedbør \div smeltning på en given dato er en eventuel smeltning i det

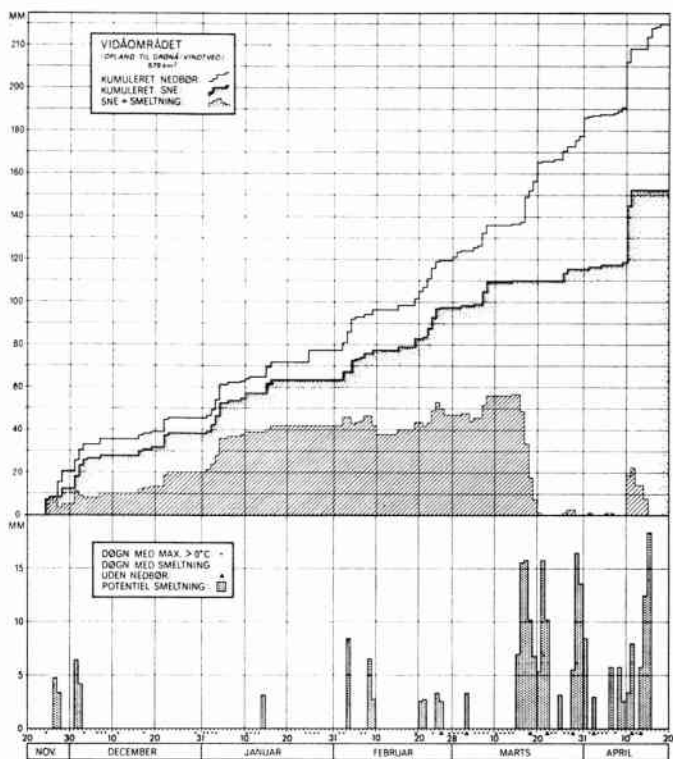


Fig. 13. Kumuleret nedbør og potentiel smeltning i Vidå-området.

Fig. 13. Cumulated precipitation and potential snow melt in the Vidå-area.

foregående døgn subtraheret fra den kl. 0800 kumulerede værdi af snenedbøren.

I tabel 3 er vist en sammenligning mellem forskellige metoder til beregning af områdets sne-vandækvivalent på grundlag af klimatiske målinger og de foretagne snetakseringer. Den mest primitive metode til bestemmelse af sneens vandækvivalent på en given dato er at kumulere den nedbør, som er faldet fra det først registrerede sne-fald og til den pågældende dato. Metoden giver tydeligvis for store værdier i slutningen af vinteren. Hvis der findes pålidelige oplysninger om nedbørstypen, kan de kumulerede værdier af snenedbøren tilsvarende beregnes. Afvigelsen er knap så grell, men dog tydelig fejlagtig sent på vinteren. Beregningen af snenedbør ÷ smeltning giver derimod for de tre af snetakseringerne resultater der ligger lidt under de målte værdier, men inden for 95 % konfidensintervallet. Den beregnede værdi for Stevns d. 4/3 ligger imidlertid væsentlig højere end den målte.

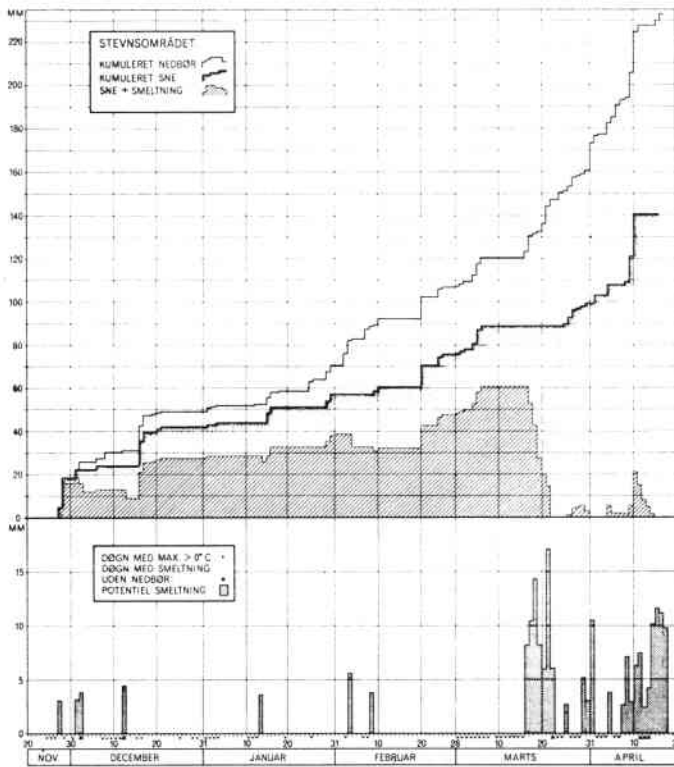


Fig. 14. Kumuleret nedbør og potentiel smeltning i Stevns-området.

Fig. 14. Cumulated precipitation and potential snow melt in the Stevns-area.

Resultaterne af ovenstående er overraskende gode i betragtning af det ringe antal målepunkter, og eventuelle fejl i de klimatiske data, som indgår i formlen.

Der er ved beregningen ikke taget hensyn til den vandmængde, som må forsvinde ved fordampning. Den potentielle fordampning fra december til medio marts er efter Penman ca. 35 mm. Indsat i fig. 13 og 14 vil værdien af kumuleret snenedbør ÷ smeltning ÷ fordampning være betydelig mindre end den samtidigt målte vandækvivalent. Da adskillige undersøgelser har påvist, at måling af nedbør i form af sne ofte giver for små værdier i forhold til den virkelige nedbør, vil det være rimeligt at antage at også den her målte snenedbørmængde er for lille. Differencen mellem den virkelige nedbørmængde og den faktisk målte kan i dette tilfælde tænkes at være af samme størrelse som fordampningen, således at de to størrelser ved beregning af vandækvivalenten opvejer hinanden. En sådan balance behøver langt fra altid at forekomme,

Tabel 3.

Sneens dybde og vandækvivalent beregnet efter forskellige metoder:
Snow depth and water equivalent calculated after different methods:

Dato Date	Vidå-området				Stevns-området			
	1/2		11/3		30/12		4/3	
Metode Method	sne- højde cm	H ₂ O ækv. mm	sne- højde cm	H ₂ O ækv. mm	sne- højde cm	H ₂ O ækv. mm	sne- højde cm	H ₂ O ækv. mm
Kumuleret nedbør til dato <i>Cumulated precipitation</i>	–	77.0	–	135.9	–	48.7	–	109.7
Kumuleret snedebør til dato <i>Cumulated precipitation of snow</i>	–	63.3	–	109.5	–	42.2	–	78.3
Kumuleret snedebør ÷ smeltning <i>Cumulated snow ÷ snow melt</i>	–	42.5	–	55.7	–	27.6	–	50.0
Gns. snehøjde multiplie- ret med målt gns. densitet <i>Snow depth multiplied with average density</i>	20.0	62.4	29.0	71.1	17.0	40.8	10.5	32.6
St. Jynde vad snehøjde multipliseret med målt gns. densitet <i>St. Jynde vad snow depth multiplied with average density</i>	18.0	56.2	22.0	53.9	–	–	–	–
Målt ved snetaksering <i>Snow surveying</i>	14.3 ± 2.4	46.2 ± 8.2	22.4 ± 2.5	60.8 ± 9.7	12.2 ± 3.6	29.3 ± 8.8	11.7 ± 4.5	35.6 ± 14.3

og de rimelige resultater kan derfor være et udslag af tilfældighed.

Den ved nedbørsstationerne målte snehøjde er multipliceret med gennemsnitsdensiteten for sneen i området beregnet udfra snetakseringerne. Den således beregnede vandækvivalent ligger fra 7 mm under til 16 mm over de ved snetakseringen fundne værdier, fire af de beregnede værdier ligger over de målte. Dette kan dels skyldes usikkerheden ved beregninger på grund af de relativt få snemålinger og dels, at læforholdene ved nedbørsstationerne giver anledning til en større snelagstykkelse. Ovenstående beregning kan ikke foretages for andre vintre, da der ikke måles densitet ved nedbørsstationerne; på grundlag af erfaringer kan man dog evt. indsætte et passende skøn over densiteten i stedet. Med de forhåndenværende klimatiske data fås det bedste skøn over vandækvivalenten ved at kumulere snedebøren ÷ beregnet smeltning, med de nævnte

forbehold. De mere detaljerede måleprogrammer ved *Statens Forsøgsgårde* og i *IHD områderne* kan forbedre beregningerne, særlig når sneen smelter i klart vejr. Måling af densiteten ved nedbørsstationerne vil give en god støtte til en vurdering af sneens vandækvivalent i et nedbørsområde. For at opnå en nøjagtighed i bestemmelsen af den som sne opmagasinerede vandmængde, svarende til nøjagtigheden på nedbørsmålingen, vil det være nødvendigt at foretage snetakseringer.

Tøbrud og afstrømning:

Den beregnede potentielle smeltning er vist på fig. 13 og 14. Det ses, at der ikke forekommer nogen større smeltning fra begyndelsen af december til henimod midten af marts. Fra den 16/3 til 21/3 foregår der er kraftig smeltning af sneen, samtidig med forekomst af ret store nedbørsmængder. Målinger fra en del af samme periode er vist i fig. 5 for Burkal og Bajstrup. Største målte smeltning er 26 mm/døgn og største beregnede er 16 mm/døgn. Størstedelen af den i løbet af vinteren opmagasinerede vandmængde frigøres ved tøbruddet den 16/3-21/3. De senere tøbrud er af sekundær karakter og skyldes smeltning af sne, som er lejret inden for en relativ kort periode. Resultaterne af afstrømningsmålingerne ved Grønå er stillet til rådighed af *Det Danske Hedeselskabs hydrometriske afdeling*; resultaterne er at betragte som foreløbige, idet tøbrudsafstrømningen kan have ændret relationen mellem vandstand og vandføring. På fig. 15 er den målte afstrømning omregnet til mm/døgn/km² (oplandsarealet 579 km²) og sammenlignet med nedbør og smeltning. Den potentielle smeltning er her korrigeret i forhold til den tilstedeværende snemængde (ved St. Jynde vad), således at der kun regnes med smeltning så længe der forekommer et snedække. De 3-5 afstrømningsmaksima som findes på fig. 15 antages at være forårsaget direkte af snesmeltning eller snesmeltning + nedbør, medens maksima, som forekommer senere end det her viste tidsinterval, kun indirekte er påvirket af snesmeltningen. Med indirekte påvirkning menes her, at reservoiret i jorden er opfyldt af smeltevandet, således at den kraftige nedbør må strømme næsten overfladisk af. Fjernelsen af smeltevand fra nedbørsområdet er belyst ved simple vandbalanceudtryk i fig. 16. Kurven for tømning af vandreservoiret i sneen uden hensyn til nedbør er fremkommet ved fra den beregnede vandækvivalent for St. Jynde vad (57 mm) at fradrage den daglige målte afstrømning. 5. april er således tidligste tidspunkt, hvor sneen kan være forsvundet som smeltevand, her er set bort fra baseflow. Der

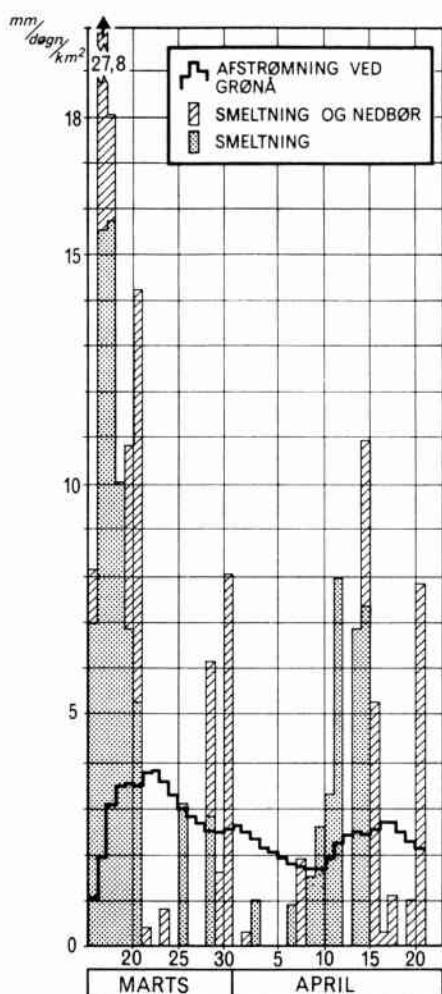


Fig. 15. Afstrømning og smeltning i Vidå-området.

Fig. 15. Run-off and snow melt in the Vidå-area.

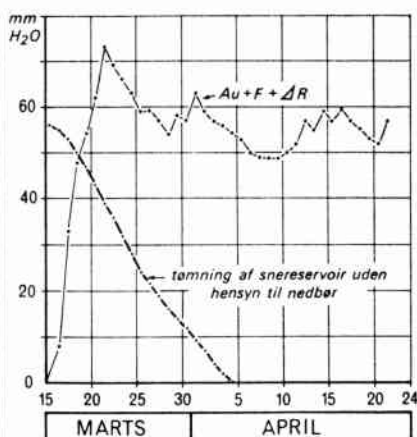


Fig. 16. Calculated balance.

Fig. 16. Balanceberegning.

er opstillet en balance over mængden af frit vand i nedbørsområdet; balancen begynder den 16/3, hvor ΔR sættes til 0. Vandbalance-ligningen $N + \text{smeltning} \div A_o = A_u + F + \Delta R$ udregnes og kumuleres pr. døgn. Størrelserne A_u (underjordisk afstrømning) og F (fordampning) er ukendte. A_u er positiv, F er mindre end eller lig med den potentielle fordampning, som i begyndelsen af perioden er lille. Kurven vil derfor den første tid give udtryk for kumuleret ΔR . Afstrømningen kan i begyndelsen ikke holde trit med smeltning og nedbør, og den frie vandmængde i området vokser; denne vand-

mængde går til jordvand og grundvand samt til oversvømmelse af lavtliggende arealer. Mængden af frit vand kulminerer d. 22/3, dagen for max. afstrømning, herefter falder kurven, dog afbrudt af midlertidige stigninger. Det ses, at kumuleret ΔR ikke når ned på startværdien. Det må dog bemærkes, at indregning af A_0 og F i balanceligningen ville formindske ovennævnte størrelse, men næppe til 0. En del af den fra sneen smeltede vandmængde kan derfor stadig være til stede i nedbørsområdet efter den 22. april.

De registrerede afstrømningsmaksima indtræffer 2-3 døgn efter nedbør + smeltningsmaksima. Den afstrømmende vandmængde, svarende til største nedbør + smeltevandsmængde, udgør ca. 13 % af denne, de øvrige afstrømningsmaksima udgør større procentdele af de tilsvarende nedbør + smeltningsmaksima. Det første afstrømningsmaksimum er mindre end det følgende, selv om nedbør + smeltning er væsentlig større, dette må skyldes, at en stor del af den først smeltede sne bruges til fyldning af jordvandsreservoiret.

Sammenfatning og konklusion:

Formålet med undersøgelsen var at bestemme sneens vandækvivalent og foretage en sammenligning med klimatiske målinger.

Den anvendte målemetode og det anvendte udstyr har vist sig velegnet til formålet. Det på grundlag af Stevnsundersøgelsen beregnede antal målepunkter gav i Vidåområdet et bredere konfidensinterval end forventet, dette kan dels skyldes morfologiske og dels klimatiske forskelle mellem de to områder.

Klimatiske data, som vedrører snemængden og snesmeltningen, er undersøgt. Sneens smeltning er beregnet på grundlag af data for nedbør, vindhastighed og temperatur ved hjælp af en formel udviklet af *US-Army Corps of Engineers*. Formlen har med den her indsatte områdefaktor givet resultater, som sammenlignet med målt sne- dybde og målt smeltning synes rimelige. De klimatiske målinger er anvendt til beregning af vandækvivalenten på en given dato. Den bedste tilnærmelse til de ved snetakseringerne målte vandækvivalenter, fås ved at kumulere sneedbøren og subtrahere beregnet smeltning. Den ikke medregnede fordampning synes at opvejes af en for lille målt snemængde. Måling af sneens densitet ved nedbørsstationerne vil betyde en væsentlig bedre mulighed for bestemmelse af sneedækkets vandækvivalent i et nedbørsområde. En nøjagtig bestemmelse af vandækvivalenten vil fordrø udførelsen af snetakseringer med et efter nøjagtighedskravene beregnet antal målepunkter. De i undersøgelsen fundne standardafvigelser og tidsforbrugsmål-

ger kan anvendes som vejledende værdier ved planlægningen af fremtidige snetaksringer.

De største afstrømningsmaksima er i en række danske vandløb forekommet i forbindelse med et tøbrud. De målte afstrømningsværdier ved Grønå er sammenlignet med smeltning og nedbør. Forsinkelsen mellem maksimal snesmeltning + nedbør og maksimal afstrømning er 2-3 dage for Vidåområdet. Maksimal afstrømning udgør her mindst 13 % af den tilsvarende ved smeltning og nedbør tilførte vandmængde. Viden om sneens vandækvivalent i et nedbørsområde er nødvendig ved studier af tøbrudsafstrømningen, og endvidere kan oplysninger om sneens vandækvivalent anvendes til varsling, således at skader ved tøbrudsafstrømning i nogen grad kan afbødes.

Det må pointeres, at resultaterne af den herværende undersøgelse er af foreløbig karakter, fordi målingerne kun har strakt sig over en enkelt vinter. Det er imidlertid hensigten at fortsætte undersøgelserne på Stevns og i Vidåområdet som et led i *Københavns Universitets Geografiske Instituts* glaciologiske og hydrologiske forskningsprogram.

SUMMARY**Investigations of the Water Equivalent of Snow in
Southern Jutland 1969-70**

By Bent Hasholt

Purpose

The investigation was initiated because it was doubted whether the available meteorological data on snow were sufficiently reliable for an evaluation of the proper size for a reservoir to serve the drainage area of the river Vidå. The primary purpose of the investigation was to determine the quantity of water getting stored in the snow cover during the winter. As measurements of this kind have not been made in Denmark before, the results have been compared with climatological and hydrological records, partly as control measures and partly with the purpose to find the best way to exploit available climatical data for a determination of the water equivalent of snow in the areas. Furthermore, the snow melt has been investigated because a rapid melting of the snow might be dangerous for the reservoir. Finally, an evaluation of the methods applied in snow surveying is ventured.

Measuring equipment

Apart from drifts, the snow cover in Denmark is relatively thin. The commonly used American Mount Rose snow surveying equipment was therefore found to be less suited because of the cutting edge (*Beaumont*, 1966) and of the rather small tube diameter (approx. 36 mm). It was therefore decided to compose a snow surveying equipment that fulfilled the following requirements:

- 1) All measuring operations were to be performed in the field.
- 2) Equipment simple enough to be operated by non-technical staff.
- 3) Weight, the least possible and costs reasonable.

The measuring principle was weighing on scales of a known volume of snow taken from the ground by means of a tube. The equipment consists of the following parts (fig. 1):

- | | |
|---|---|
| 1 ruler, 40-50 cm long,
starting with 0. | 1 spring scales, capacity 500 grs.,
5 grs. graduation. |
| 1 snow-sampling tube,
inner diameter approx. 60 mm,
length 25 cm,
weight approx. 116 grs. | 1 weighing strap to hold the tube. |
| 1 snow-sampling tube,
inner diameter approx. 60 mm,
length 50 cm
(brought along if necessary). | 1 plate of galvanized iron,
200 × 150 × 1.5 mm. |
| The tube is made of plastic,
with bottom edge ground sharp,
an inner coating not necessary. | 1 waterproof plastic bag. |
| | 1 field spade for digging,
and supporting the scales. |
| | 1 grid map. |
| | 1 compass. |
| | 1 field data note book. |
| | 1 instruction |
| | 1 bag. |
| | Total weight abt. 2 kilos. |

Measurements of snow depth, density and water equivalent

The measuring technique used has been adapted to Danish conditions from *Snow Survey Sampling Guide, U.S. Soil Conservation, Handbook, 1953*.

Having found the sampling point, the observer measures the snow depth on the ruler, digs along it to control that the ground surface has been reached. Hereby, the profile can also be studied. The hole is then expanded so much that the plate can be pushed in, as close to the surface as possible (normally 0.5-1 cm). This method can be criticized because the snow nearest the surface of the ground will be left. With the American method, the tube is pressed into the ground and the plug of soil and leaves scraped out afterwards with a knife. However, the transition between soil and snow, or between vegetation and snow, is seldom even, and it is therefore difficult to determine the length of the snow column, whereas the plate provides a solid reference level; in cases of high snow depths, a possible error will be insignificant when the snow at the ground surface is calculated to have the same density as the rest of the column. In several places, towards the end of the winter, there were centimetres thick ice layers at the bottom of the snow cover. In this case, snow and ice are measured apart, and the water equivalent of ice is calculated on the basis of an estimated density of 0.7 grs/cm³. With the tube, a sample of the snow cover is taken (fig. 2), sample and tube are put on the spring scales and the weight read with an accuracy of one gramme. Trials have proved that this is possible. The length of the snow column is measured from the snow surface to the plate after having removed the tube containing the sample, which will often be pressed somewhat together. All lengths to be read with an accuracy of 1 mm. If the sample weighs less than 100 grs., more samples are to be taken at the same place until approx. 100 grs. have been collected in the plastic bag. Weight and total height of column are noted. On the basis of these records, density and water equivalent of the column of snow at the sampling place is calculated.

Uncertainty as to length	± 2 mm
Uncertainty as to weight	± 2 grs.
Uncertainty as to tube diameter	± 0.2 mm

To give an example: column 100 mm, snow depth 105 mm, weight of sample 100 grs. If allowance is made for the uncertainty in a composite measurement, the uncertainty of the density will be: $\sqrt{0.7^2 + 2^2 + 2^2} = \text{ca. } 3\%$. The uncertainty of the water equivalent will be $\sqrt{0.7^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2} = \text{ca. } 4\%$. These results have been confirmed by repeated sampling in the same place. The accuracy hereof must be said to be satisfactory, but it will also appear that a 1 mm-accuracy of length reading should be observed.

Sampling technique

As existing data were few, it was, after discussion with *E. Kousgaard*, statistician, decided to make a two-stage random sample to permit statistical calculations.

The watershed of a discharge gauging station is drawn on a 1:100,000 map with a UTM grid-net. All 1-kms. squares cutting the watershed are included, although the area becomes a little larger than it is in reality. The squares are given figures, and the desired number of sampling points drawn out after a random table (*Yates*), fig. 3 and 4. The points are then transferred to a grid-net map 1:25,000 together with detailed sketches. Within each square, measurements are to be taken for a number of points, how many is decided beforehand (here 3, as to the selection of them, see below). The distance between the points is set to 50 mtrs. on the basis of a visual estimate of the snow drift size. The purpose is further to avoid that the three points within a square fall within the same snow drift. The points lie: 1) in the SW-corner of the square, 2) 50 m towards the N and, 3) 50 m towards the E from the corner in order to avoid wind orientation of the snow influencing the measurements.

It is important that the random selection of points is also strictly observed in the field. To ensure this, detailed instructions have been worked out for the observers.

The road system in Denmark is well developed and passable most of the winter season, apart from periods of heavy snow drifting. The observer can therefore nearly always go very close to the measurement square by car. Each observer is allocated 7-10 squares to measure and a fixed route. From the nearest passable road, he walks on foot to the most well-defined point of the terrain lying nearest the SW-corner. From here, the compass direction is taken to the SW-corner and by pacing off, the distance to it is found; length of pace has been controlled beforehand under snow conditions. The other two points are found by compass direction and by pacing off from the SW-corner. In this way the location of each square will be fixed within ± 20 metres. If there are no good ground points of control nearby, this will of course increase the tolerance. The sampling is to be made in the same squares at different times during the winter. As same sampling point will probably not be found by the observer, the survey will not be made in exactly the same point each time, but it is assumed that these slight differences will be equalled over all the squares. In American snow surveyings the location of the sampling points is shown by markers set up in close proximity to the point. For longer periods such a marking is seldom possible in Denmark because of the intensive cultivation of arable land.

To prevent mistakes because of bad memory of the observer, the instruction is that the sampling point is always to be found by pacing off and compass direction. Furthermore, to avoid that the observer estimates the position of the sampling point (e.g. in a ploughed field), the rule is that it lies a ruler's length to the right of the end point of the pacing off. If the sampling point happens to fall within buildings, on roads, or in man-made accumulations of snow, the point is to be moved 50 mtrs. towards the east.

Pupils from the Grammar School at Tønder worked as observers and Mr. *B. Valeur*, M.Sc., master at the school, yielded the most valuable assistance in the organization of the field work.

In the Stevns-area, the snow surveys were made at the end of December and at the beginning of March by the author.

In the Vidå-area, 3 stations were established after the snow-survey in February for daily observations of snow depth and density, cf. fig. 5. The measurements were taken in the afternoon. The sampling points were established at the edge of a snow drift so that changes in snow depth and density could be observed during thawing, and until most of the snow in the area had disappeared. From a horizontal line over the snow the distance to the snow surface was measured in three points. The density was to be measured at the same level of height in the snow drift, where possible. In the Vidå-area, the regular snow surveyings were made at the beginning of February and of March. The daily records continued to about 19th of March, when only ice was left in the drifts.

Processing of the data

Density and water equivalent have been calculated for each point. From the snow surveying of February 1, the following examples can be given to show how the single points reflect the conditions in the sampling square:

Sampling square UTM: 1776
 Snow depth: 110, 137, and 154 mm
 Snow density: 0.36, 0.35, and 0.33 grs/cm³
 Water equivalent: 40, 48 and 50 mm

The points are all situated in an open flat area. The values are fairly uniform, the relatively high density is presumably due to wind action. Different values were found for:

Sampling square UTM: 2380
 Snow depth: 357, 307, and 670 mm
 Snow density: 0.28, 0.27, and 0.38 grs/cm³
 Water equivalent: 100, 82, and 252 mm

The two points showing low density, lie west of a road in an area with newly planted spruce trees offering relatively good shelter, but no interception of importance. The point east of the road lies in a snow drift. Finally, low density and water equivalent values were found for:

Sampling square UTM: 2481
 Snow depth: 57, 132, and 97 mm
 Snow density: 0.28, 0.25, and 0.31 grs/cm³
 Water equivalent: 16, 33, and 30 mm

The low density is due to the fact that the snow has been deposited in shelter; the forest is here very dense and the low water equivalent is presumably caused by interception.

Average, \bar{x}_{i0} , and standard deviation, s_w , of snow depth, density and water equivalent have been calculated for each square. Thereafter average of all squares, \bar{x}_{00} , and standard deviation, s_b , are computed. Water equivalent and snow depth are indicated in millimetres, density in grs/cm³ with two decimals after rounding, cf. table 1 and 2.

For the Vidå-area, it was desired to have a 95 % confidence interval on the water equivalent, i.e. average should be ± 3 mm. On the basis of results from the snow surveying at Stevns in December, the computed optimal numbers of sampling points per square should be 2-3 and 54 squares for the whole drainage area to obtain this. The calculations (cf. *Ernst Lykke Jensen*, 1960) are here shown for the snow surveying made March 11, see list of symbols.

H₂O equivalent

Average 61 mm	s_b 33,4	95 % confidence interval
	s_w 38,6	61 \pm 10 mm or \pm 16 %

Density

Average 0.25 grs/cm ³	s_b 0,046	95 % confidence interval
	s_w 0,056	0.25 \pm 0.013 or \pm 5.5 %

Snow depth

Average 224 mm	s_b 86,5	95 % confidence interval
	s_w 91,9	224 \pm 25 mm or \pm 11 %

In order to find the best distribution of sampling points, known values are inserted in the equation: $C = c_1 \cdot m + c_2 \cdot m \cdot n$ indicating the total consumption of labour in man-days. For the areas investigated, c_1 and c_2 are found to be abt. $1/24$ and $1/96$ man-day respectively for a trained observer.

The optimal number of sampling points per square is found from the equation:

$$n_o = \sqrt{\frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{\sigma_w}{\sigma_b}} \approx \sqrt{\frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{s_w^2}{s_b^2 \cdot n}}$$

$V(x_{oo}) = V_o$ is chosen and, together with the other known values, inserted in the equation expressing the optimal number of squares:

$$m_o = \frac{s_w^2}{V_o n_o} \left(1 + \frac{1}{n_o} \cdot \frac{c_1}{c_2} \right)$$

If the values of 95 % confidence interval on water equivalent, density, and snow depth average are set to 5 mm, 0.010 grs/cm³, and 10 mm respectively, the following is arrived at for the corresponding n_o and m_o values:

	n_o	m_o
water equivalent	3.1	177
density	3.5	77
snow depth	2.7	311

It is seen that the optimal number of sampling points per square is about 3 as used in this snow-surveying. If the above values are inserted in the equation of labour consumption, one gets for measurement of the water equivalent of snow: $C = 13$ man-days, corresponding to 13.6 squares

per day per man-day; the best result obtained hitherto is 12 squares per day per man.

Discussion of the results

The investigation shows that, with the equipment applied, it is actually possible to determine with a reasonable degree of accuracy the values desired. The results of the individual sampling points accord well with the actually observed snow conditions of the snow course. The daily measurements from the two stations in the area are shown in fig. 4, missing measurements are either due to illness of the observer or to malicious damage. The effect of the heavy snowfall on the 6th and 7th March is clear; the snow ripened during the next week and March 14, thawing started. The highest recorded decrease in water equivalent is 26 mm for one single 24-hour period.

Tables 1 and 2 indicate the results of the measurements of the individual squares as well as the average values of the Vidå-area and the Stevns-area, 600 km² and 350 km² respectively. The square designation is for the Vidå-area the UTM grid-net, and for the Stevns-area the old Danish military grid-net. The area average, the expression of the standard deviation value within and between the squares, and the 95 % confidence interval on the average are indicated under the tables. The tables show that s_b and s_w are of same magnitude for both snow depth, density and water equivalent. This might indicate that the influence of the micro-environment equals that of a possible climatical or morphological regional change within the areas.

It is noticeable that s_b is smaller than or equals s_w for all measurements in the Vidå-area, whereas the opposite seems to be the case for the Stevns-area. This might be due partly to climatical and partly to morphological and vegetational differences between the two areas. Observations of the occurrence and size of snow drifts seems to indicate that the wind is a dominating factor when significant variations are observed within a small area. Occurrence of drift snow, according to criterion of *Hirobumi Ōura* (1966) has been possible for 5-10 days in the Vidå-area. Accordingly, the later the measurement is taken, the more it will be influenced by drift snow; it is also evident that s_w and s_b are higher for the last survey.

In investigations of regional patterns, it is important that micro-environment variations do not dominate, and the sampling points should therefore be placed in similar micro-environments. This also means that an evaluation of, for example, the water equivalent of the area by means of an isoline map drawn on the basis of the square values applied here, would be misleading because of the different micro-environments.

As shown previously, of the three mean values computed for the area, the average density with a 95 % confidence interval of ± 5.5 % is much better determined than are the values of snow depth and density. If we consider the mean water equivalent of the area as measured by a composite measurement, the uncertainty on it can be computed on the basis of the uncertainty values for the average snow depth and density of the area. For both values the uncertainty can be limited to 3-5 %, for the

water equivalent it will thus be 5-6 %. The density is measured in an adequate number of sampling points by a trained staff. To delimit the uncertainty for snow depth in a similar way, demands a considerable number of sampling points. However, such a measuring is simple compared with the determination of density and can therefore be made by local people after a short instruction.

In the United States, the scope of snow surveying is to establish a relation between the snow cover at designated locations and subsequent snow melt run-off, but not, as in the present investigation, to determine quantitatively the actual amount of water stored in the precipitation area. Normally, 10-20 measurements are taken at 50-100 feet intervals, and snow courses of this kind are placed for each 100 sq-miles precipitation area. Many snow survey courses lie in inaccessible regions, the c_1 -value will therefore be high compared with the c_2 ; this involves that the optimal number of points per square (survey course) will be higher. The size of s_b and s_w shows the uncertainty which must be accounted for, if such a survey is used to express the true water equivalent value of the area. An investigation (*Arnold Court, 1958*) of an American snow survey course, which has been studied for 21 years, has shown that the data for the individual sampling points gives an estimate of the mean value of the course \pm a deviation being constant for the individual sampling point and independent of the true water equivalent. It has been computed what individual points correlate best with the water equivalent of the survey course, and the result is that a mean value computed on the basis of fewer points, but with a good correlation with the areal average, will express the same degree of reliability as an average on the basis of all sampling points in the area.

If a similar, constant ratio between the individual squares and the areal average could be found for the here investigated areas, it would, analogous with the above, be possible to reduce the number of sampling squares considerably after a number of years without decreasing the reliability.

Comparison with climatical data

The precipitation recorded for the two areas appears from fig. 7 and 9, where snow and rain have been treated individually. Fig. 6 and 8 show the snow depth observed in the course of the winter. The snow melt for the two precipitation areas has been found after the formula developed by the US Army Corps of Engineers (*Ven Te Chow, 1964*):

$M = (0.029 + 0.0084 \cdot k \cdot v + 0.007 P_r) (T_o - 32) + 0.09$ where k is set to 0.7.

For the Vidå-area, the climatical data used in the calculation of snow melt appear from fig. 9, 10, and 11. The temperature shown is the diurnal mean air temperature and not a dew point temperature. In fig. 13 and 14 is shown the cumulative precipitation, precipitation of snow and precipitation of snow minus calculated snow melt. The curve of precipitated snow minus computed snow melt is in good accordance with the snow depth (fig. 6 and 8) and the snow melt measured (fig. 5). The formula for snow melt seems to give reasonable results for the areas investigated.

The computed cumulative precipitation of snow minus melting shows water equivalent values for the areas lying close to those measured by the snow surveying (table 3). The evaporation is not included in the above calculations. If the evaporation is included the computed water equivalent will be considerably less than measured. Several investigations have shown that the measured snow fall is less than the actual. The effect of not included evaporation and a too small measured snow precipitation will go into opposite directions, and have perhaps here counter-balanced each other.

The discharge from the station Grønå, measured by the Danish Health Society, is shown in fig. 15 with the calculated melting and precipitation. Maximum discharge occurs two to three days after maximum melting plus precipitation.

Fig. 16 shows the size of precipitation plus melting minus discharge = $A_v + F + \Delta R$. Right side of the equation expresses the changes of the free amount of water, ΔR , contained in the area and the water losses due to subsurface passage of drainage divide, A_v , and evapotranspiration, F . The other curve in fig. 16 shows how rapidly the water stored in snow is able to flow away from the area with the measured discharge, if the actual precipitation and baseflow is not accounted for.

Conclusion.

The methods applied to determinate the water equivalent of snow have proved to be well-suited for the purpose. The comparison with climatological data shows that the results of the snow surveys are reasonable. The US Army Corps of Engineers' snow melt formula, used with a basin constant of 0.7, seems to give results that could be used in a computation of snow water equivalent from climatological data. The computed snow melt plus precipitation is compared with measured discharge at Grønå gauging station. The lag time between snow melt plus precipitation max. and discharge max. is two or three days. The max. discharge volume is at least 13 % of the corresponding melt plus precipitation max.

It must be stressed, however, that the conclusions are based on measurements during only one winter, 1969-70, and the investigation is to be considered as a pilot study on which future investigations may start.

LITTERATUR

- Beaumont, Robert T.* (1966): Field Accuracy of Volumetric Snow Samplers at Mt. Hood, Oregon. Physics of Snow and Ice, Part 2. Sapporo Conference 1966.
- Chow, Ven Te* (1964): Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill, Inc.
- Court, Arnold* (1958): Selection of „best“ snow course points. Proceedings Western Snow Conference, Bozeman, Mont., April 1958, Colorado State University, Fort Collins, October 1958.
- Jensen, Ernst Lykke* (1966): Repræsentative undersøgelsers teori og metode II. Københavns Universitets Statistiske Institut.

- Ôura, Hirobumi* (1966): Studies on Blowing Snow II. Physics of Snow and Ice, Part 2. Sapporo Conference 1966.
- Yates, Frank* (1965): Sampling Methods for Censuses and Surveys, London.
- Snow Survey Sampling Guide. US Soil Conservation, Serv. Agr. Handbook 169, December 1953.

Symbolliste
List of Symbols

M	totalt antal kvadrater i oplandet <i>total number of squares in the drainage area</i>
m	antal målte kvadrater i oplandet <i>number of squares surveyed</i>
n	antal målte punkter pr. kvadrat <i>number of points per square</i>
m_o	optimalt antal kvadrater <i>optimal number of squares</i>
n_o	optimalt antal punkter pr. kvadrat <i>optimal number of points per square</i>
C	totalforbrug af arbejdstid (mand-dage) <i>total consumption of labour (man-days)</i>
c_1	tidsforbrug mellem kvadrater (mand-dage) <i>time spent between squares (man-days)</i>
c_2	tidsforbrug pr. måling inden for kvadraterne (mand-dage) <i>time consumption per measurement within the squares (man-days)</i>
x_{ij}	målt værdi i et punkt i et kvadrat <i>value measured for one point in one square</i>
\bar{x}_{io}	gennemsnit af værdi af punkter i et kvadrat <i>average of point values in one square</i>
\bar{x}_{oo}	gennemsnit af kvadraters gennemsnit (totalgennemsnit) <i>mean value of average of squares (total average)</i>
s_w^2	skøn over variansen inden for kvadraterne <i>estimate of variance within the squares</i>
s_b^2	skøn over variansen mellem kvadraterne <i>estimate of variance between the squares</i>
σ_w^2	variansen inden for kvadraterne <i>the variance within the squares</i>
σ_b^2	variansen mellem kvadraterne <i>the variance between the squares</i>
$s(x_{oo})^2$	skøn over variansen på totalgennemsnittet <i>estimate of the variance of the total mean value</i>
$V(x_{oo})$	variansen på totalgennemsnittet <i>the variance of the total mean value</i>
V_o	valgt varians på totalgennemsnittet <i>chosen variance of the total mean value</i>

df	$\frac{s_b}{\sqrt{m}}$
M	total døgn-smeltning i inches <i>total diurnal snow melting in inches</i>
T _o	døgn-gennemsnits-temperatur af mættet luft i F° <i>diurnal mean temperature of saturated air (F°)</i>
v	døgn-gennemsnits-vindhastighed i mph i 50 feet højde <i>diurnal mean wind speed (mph at 50 feet height)</i>
P _r	nedbørsmængde i inches/døgn <i>amount of precipitation in inches/24 hours</i>
k	en bassinkonstant der kan antage værdier mellem 0,3 og 1,0 <i>a basin constant between 0.3 and 1.0</i>
Z _a	målehøjde for temperatur <i>measurement height for temperature</i>
Z _b	målehøjde for vindhastighed <i>measurement height for wind speed</i>
T _{max}	maksimum temperatur/døgn <i>diurnal maximum temperature</i>
T _{min}	minimum temperatur/døgn <i>diurnal minimum temperature</i>
T _m	middel temperatur/døgn <i>diurnal mean temperature</i>
N	nedbør <i>precipitation</i>
A _o	overjordisk afstrømning <i>surface run-off</i>
A _u	underjordisk afstrømning <i>subterranean run-off</i>
F	evapotranspiration <i>evapotranspiration</i>
ΔR	ændring i opmagasineret vandmængde <i>change of amount of stored water</i>