

G. T. O. Publikation nr. 1

MINISTERIET FOR
GRØNLAND
G. T. O.s. BIBLIOTEK
S. F. B.
D. K. 241

20 DEC, 1957

~~MATERIALEPRØVE
ER HENLAGT~~

Frost og fundering

Elementære forudsætninger for projektering
og udførelse af fundamenter
til områder med vinterfrost og permafrost

Udarbejdet af

NIELSEN OG RAUSCHENBERGER
RÅDG. CIVILING. F. R. I.

Ministeriet for Grønland
Grønlands tekniske organisation
København 1957

FROST OG FUNDERING

Elementære forudsætninger for projektering og udførelse af fundamenter til områder med vinterfrost og permafrost.

Udarbejdet af Nielsen & Rauschenberger,
rådg. civiling. F. R. I.

| Indholdsfortegnelse: | | Side |
|--|-------|------|
| A. Indledning | ..... | 3 |
| B. Vinterfrost og permafrost | ..... | 5 |
| I Definition og udstrækning | ..... | 5 |
| II Ødelæggende virksomhed | ..... | 6 |
| a) Alment | ..... | 6 |
| b) Opfrysning | ..... | 6 |
| c) Optøning | ..... | 8 |
| C. Forundersøgelser og principielle forholdsregler | ..... | 11 |
| I Forundersøgelser | ..... | 11 |
| a) Grundundersøgelser | ..... | 11 |
| b) Overfladeundersøgelser | ..... | 13 |
| II Principielle forholdsregler | ..... | 15 |
| a) Vinterfrostområder uden permafrost | ..... | 15 |
| b) Permafrostområder | ..... | 16 |
| D. Retningslinjer for udformning af permafrostfundamenter | ..... | 19 |
| I Alment | ..... | 19 |
| II Permafrostfundamenter til mindre, permanente bygninger | ..... | 19 |
| III Permafrostfundamenter til midlertidige bygninger | ..... | 20 |

A. Indledning

Kombinationen frost og fundering har, lige så længe den har eksisteret givet anledning til problemer.

I områder med gammel byggetradition har man efterhånden løst de fleste af disse problemer, i stor udstrækning ad empirisk vej.

Anderledes stiller det sig i de arktiske egne, hvortil man har overført en byggetradition, der er vokset op under betydeligt mildere himmelstrøg.

I nogle tilfælde er det gået godt, først og fremmest fordi man så vidt muligt funderede på fast fjeld. I andre tilfælde er det gået galt, specielt i permafrostegnene, hvor den permanent frosne jord har frembudt en hel række ukendte problemer.

Problemerne er blevet tilspidset de sidste ca. 20 år, hvor byggeaktiviteten i de arktiske egne har taget et kolossalt op-sving.

For at løse problemerne har man specielt i Canada, Rusland og USA udført et stort forskningsarbejde, og som resultat heraf foreligger en større litteratur om såvel almindelige frostproblemer som specielle permafrostproblemer.

Nærværende redegørelse er baseret på forskellige af disse udenlandske redegørelser, specielt P. Muller's: »Permafrost«, samt enkelte danske afhandlinger om frostproblemer.

Endelig er medtaget resultatet af de praktiske erfaringer, der er gjort i forbindelse med den seneste danske anlægsvirksomhed i Grønland.

Redegørelsen er delt i tre hovedafsnit, hvoraf det første (B) giver en almen omtale af frostproblemernes natur.

Andet afsnit (C), der er skrevet specielt af hensyn til de teknikere, der skal udføre recognosceringsarbejder for større anlægsarbejder, omhandler forundersøgelser og principielle forholdregler.

Tredie afsnit (D) kan læses uafhængigt af indholdet i andet afsnit. Det indeholder nogle enkelte retningslinier for udformningen af fundamenter til interimistiske eller mindre, permanente bygninger, for hvilke det vil være uoverkommeligt i hvert enkelt tilfælde at foretage omfattende forundersøgelser- og projekteringsarbejder.

B. Vinterfrost og permafrost

I. Definition og udstrækning.

Jordlag (eller grundfjeld), der fryser om vinteren og tør om sommeren, kaldes under eet: de aktive lag. I nærværende redogørelse vil de i frossen tilstand få betegnelsen: **vinterfrost**. **Definition**

Jordlag (eller grundfjeld), der har været permanent frosne gennem en årrække, benævnes med fællesbetegnelsen: **permafrost**. Medmindre jordoverfladen er dækket af sne eller is året rundt, vil der altid mellem permafrosten og jordoverfladen være et aktivt lag.

Vinterfrosten er udbredt til alle egne med negativ vinter-temperatur. Tykkelsen af vinterfrosten varierer mellem ca. 0,2 og 4,0 m afhængigt af temperaturforholdene, vegetationslaget, jordens beskaffenhed m. v. **Udstrækning**

Permafrosten er specielt knyttet til de arktiske egne (fig. 1). En nødvendig betingelse for dannelse og bevarelse af permafrost er, at årsgennemsnit for lufttemperaturen er under 0° C.

Den overvejende del af permafrosten er dannet for 2—10.000 år siden, men der sker stadig — på grund af klimaændringer — såvel forøgelse som indskrænkning af permafrostområderne.

I Grønland er der permafrost under indlandsisen. Nord for ca. 66. breddegrad er der ligeledes permafrost i de isfri områder, og selv ved de sydligere kyststrækninger kan man finde sporadiske rester.

Permafrostområderne behøver ikke bestå af sammenhængende store arealer. I områder, hvor årsgennemsnit for lufttemperaturen kun er lige under 0° C, vil man finde permafrostpletter af ringe udstrækning afvekslende med områder uden permafrost.

Tykkelsen af permafrostlagene varierer mellem ca. 1 m ved grænsen af permafrostområderne og flere hundrede meter i de

koldeste egne. Ved Sibiriens nordkyst har man et enkelt sted målt tykkelsen af permafrosten til ca. 400 m (fig. 2).

II. Ødelæggende virksomhed.

a. Alment.

Problemerne vedr. vinterfrosten kan i hovedtrækkene forudsættes alment kendte. Når de alligevel medtages, er det dels for fuldstændigheds skyld, og dels fordi permafrostproblemerne normalt ikke kan behandles uafhængigt af vinterfrosten.

Visse problemer er fælles for vinterfrost og permafrost, og visse er specielle, men fælles for alle problemerne er, at de stammer fra jordlagenes vand-(is)indhold, samt at problemerne opstår ved overgangen fra frossen til tøet tilstand eller ved overgangen fra tøet til frossen tilstand.

Det vil være naturligt at behandle opfrysnings- og optøningsproblemerne hver for sig.

b. Opfrysning.

Frosthævninger Når vand fryser til is sker der en volumenforøgelse på ca. 10 %, og når vandholdige jordlag fryser, vil man få hertil svarende volumenforøgelser af det samlede jordlag, medmindre porevolumenet er så rigeligt, at det kan rumme vandindholdet i frossen tilstand.

Hvis jordlagene f. eks. er mættede med et vandindhold på 20 % af det samlede volumen, skulle frysningen medføre en forøgelse af dette på ca. 2 %.

Jordlagenes volumenforøgelse, der normalt viser sig ved en hævnning af terrainet, er imidlertid ofte langt større.

Dette forhold forstås bedst, når man ser på forholdene vedr. selve isdannelsen. Når de første iskrystaller er dannet (normalt i de øverste lag), vil de ved krystallisationskraften søge at tiltrække mest muligt af det omliggende vand for at indføre det i krystalnettet, og hvis kapillarkraften er tilstrækkelig stor, vil dette vandtab blive erstattet ved op sugning af vand fra evt. underliggende vandreserver. Denne vandtransport begunstiges

yderligere ved, at vandet i de snævre kapillarrør først fryser ved temperaturer under 0° C.

Følgen bliver — hvis ingen hindringer indtræffer — en stadig strømmende vandmængde til undersiden af krystallet, hvorved denne vokser i mægtighed. Under »gunstige« omstændigheder kan man få dannet iskoncentrationer — såkaldte islinser —, der er op til en halv meter tykke og flere meter i diameter. Volumenforøgelsen vil ske i den retning, hvor modstanden er mindst, hvilket normalt vil sige opefter.

I grove jordarter (sand og grov mo) er den kapillære sugehøjde forsvindende, således at krystallisationen hurtigt går i stå på grund af manglende vandtilførsel. Tilsvarende forhold gør sig gældende i tørvejordslag.

I mellemfine jordarter (fin mo og grov mjäla) er den kapillære sugehøjde så stor, at den kan opsuge vand, der ligger mellem 1 og 2 m nede. Samtidig er permeabiliteten (vandgennemtrængeligheden) relativt stor, således at der er gode betingelser for en rigelig tilstrømning til frysningssonen.

I fine jordarter (fin mjäla og ler) er den kapillære sugehøjde meget stor, men til gengæld er permeabiliteten så ringe, at der kun kan ske en ringe krystallisationsdannelse, før frosten er trængt ned under krystallet og har stoppet vandtransporten.

Som det fremgår af ovenstående, har frosthævninger langt størst betydning ved jordlag af fin mo og grov mjäla, og hvor disse jordlag er stærkt vandholdige eller ligefrem vandførende, kan man forvente store frosthævninger (5—50 cm) af terrainet.

Da den frosne jord har en stor vedhægningskraft til træ og beton (ca. 2—20 kg/cm²), vil fundamenter i opfrysningssfarlige jordlag få tilsvarende hævnings, medmindre de er tungtbelastede eller forankrede ved særlige foranstaltninger.

Når det aktive lag tør om foråret, vil jorden normalt sætte sig lige så meget som den hævede sig i vinterens løb, hvorimod fundamenterne ofte beholder en større eller mindre del af deres forskydning (fig. 3), bl. a. fordi fundamentet, når optøningen begynder, er fastholdt af den nederste del af det aktive lag, der endnu er frosset. På denne måde kan de årlige forskydninger

akkumuleres, således at fundamentet bogstavelig talt kan gro op af jorden.

»Icing« Et andet problem i forbindelse med frysningen af det aktive lag er »icing«, der er en fællesbetegnelse for de ismasser, der dannes, hvor vand trænger frem til jordoverfladen i løbet af vinteren.

Efter at jordoverfladen er frosset, vil der stadig kunne løbe vand under den frosne skorpe, men såfremt det aktive lag er underlejret af fast fjeld eller permafrost, vil det vandførende lag blive indskrænket, efterhånden som frosten trænger længere ned. På grund af de snævre pladsforhold, vil vandet komme til at stå under tryk, der kan blive så stort, at vandet sprænger sig vej frem til overfladen (fig. 4).

Betingelserne for dannelse af »icing« er bedst, hvor:

- 1) det aktive lag er vandførende,
- 2) permafrost- eller fjeldgrænsen ligger nær ved jordoverfladen og
- 3) der er lave lufttemperaturer og ringe snedække i begyndelsen af vinteren.

Snedækket spiller iøvrigt en afgørende rolle for det tidspunkt, hvor der viser sig »icing«; ringe snedække giver tidlig »icing«, tykt snedække sen »icing«.

Der er særlig fare for »icing« ved opvarmede huse, hvor varmen fra huset holder en åbning i frostskorpen. »Trykvandet«, der ofte er underafkølet, vil vælde op gennem denne åbning (fig. 5), og i Alaska og Sibirien har man flere tilfælde på huse, der bogstavelig talt er blevet udstoppet med is.

c. Optøning.

I frossen tilstand har ishuldig jord en betydelig bæreevne og sammenhængskraft. Isen binder de enkelte korn sammen, således at de frosne lag nærmest har en sandstensagtig karakter.

Sætninger Hvis jordlaget tør, er isen imidlertid også det svage led. Såfremt isen har optaget et større volumen end det, der svarer til porevolumenet ved fast lejrning af jordmaterialet, vil større eller mindre sætninger af de ovenliggende jordlag — med evt.

fundamenter — blive resultatet. De pågældende jordlag er med andre ord optøningsfarlige.

Ved grovkornede jordarter fremkommer sætningerne kun ved, at selve isen smelter bort, men ved finkornede jordarter danner vand og jord tilsammen en plastisk grød, der fortrænges på grund af trykket fra fundamentene.

1) For vinterfrostens vedkommende er optøningsfaren en direkte følge af opfrysningsfaren, således at betingelserne for optøningsfare er de samme som tidligere behandlet (vandholdige lag af mellemfine jordarter).

2) For permafrostens vedkommende er det ikke muligt udfra jordmaterialets sammensætning at udtale sig om muligheden for optøningsfare. De betingelser, under hvilke de pågældende lag er frosne, er væsensforskellige fra vinterfrostens. Hvis frysningsen er foregået langsomt (over flere år), kan man meget vel træffe store iskoncentrationer såvel i de mest finkornede jordarter — fin mjåla og ler — som i de mest grovkornede grusforekomster. Iskoncentrationer kan ligeledes tænkes dannet, hvor permafrostlagene — f. eks. på grund af temperaturændringer — har slået revner, der når op til det aktive lag.

Ved prøvegravninger eller -boringer kan man efter smeltning af jordprøver fra permafrostlagene bestemme isindholdet, og man vil da opdage, at det ofte er flere gange så stort som indholdet af faste materialer. Det er klart, at en optøning af sådanne permafrostlag vil medføre store sætninger og tilsvarende skader på overliggende bygværker.

Et andet problem i forbindelse med optøning af frosne jordlag er skredfaren. **Skred**

Når frossen jord, der består af finkornede materialer blandet med is, tør, bliver den som tidligere nævnt til en mere eller mindre plastisk masse. Ved hældende terrain kan dette medføre skridning af jordlagene med deraf følgende ødelæggende virkninger.

Disse skred er særligt udbredte i permafrostegne, fordi det aktive lag ofte er meget vandholdigt umiddelbart over perma-

frosten, således at man får et smørende lag ved permafrostgrænsen.

Man skal ligeledes være opmærksom på, at en optøning af de øverste permafrostlag (ved udgravning, varme fra huse m. v.) kan medføre skred, uanset om det hidtidige aktive lag består af tørre og stabile materialer.

C. Forundersøgelser og principielle forholdsregler

I. Forundersøgelser.

Som det fremgår af foregående afsnit, er de skader, der kan opstå i forbindelse med frossen jord, stærkt afhængige af tykkelsen af det aktive lag, jordarternes sammensætning samt vandtilstrømningen. Undersøgelserne af disse forhold deles naturligt i grundundersøgelser og overfladeundersøgelser.

a. Grundundersøgelser.

Tykkelsen af det aktive lag kan bestemmes forholdsvis enkelt: **Tykkelsen**

1) I områder, hvor der kun er vinterfrost, bestemmes tykkelsen af det aktive lag nemmest ved prøvegravning (sprængning) **af det aktive lag** i slutningen af vinteren, hvor frosten er trængt længst ned.

Generelt kan man sige, at frosten trænger længst ned, hvor vinteren er lang og kold. Indenfor områder med samme temperaturforhold trænger frosten længst ned i grovkornede og tørre jordlag uden vegetation, og mindst ned i finkornede fugtige jordlag med vegetation.

2) I områder med permafrost bestemmes tykkelsen af det aktive lag ved prøvegravninger i slutningen af sommeren, hvor optøningen er størst*). I stedet for prøvegravninger kan man også udføre prøveboringer eller sondering med en rundjernstang, der slås ned med en hammer.

Ved prøveboring (eller sondering) i områder med sten i det aktive lag, skal man passe på ikke at forveksle store sten med permafrostgrænsen. Ved stærk belastning af prøveboret (sondestangen) vil man dog — afhængigt af borets art — være i

*) For fuldstændighedens skyld skal det dog anføres, at metoden ikke er 100 % sikker, idet man ved grænsen af permafrostområderne kan have et permanent optøet lag »talik« (»tøet jord« på russisk) imellem permafrosten og det aktive lag. Dette forhold er dog normalt uden praktisk betydning.

stand til at drive det kortere eller længere ned i permafrosten indtil permafrosten holder boret (sondestangen) fast, således at det kun vanskeligt kan drejes rundt. Når man rammer en sten, vil boret normalt uanset belastningen kunne drejes frit rundt, og ved slag på en sondestang, der står på en sten, vil man få en skarp metallisk klang.

Generelt kan man sige, at optøningen trænger længst ned, hvor sommeren er forholdsvis lang og varm. Indenfor områder med samme temperaturforhold trænger optøningen længst ned i grovkornede og tørre jordlag uden vegetation, og mindst ned i finkornede fugtige jordlag med vegetation.

Jordarter- nes sammen- sætning Jordarternes sammensætning bestemmes ved sigtning af et repræsentativt udvalg af prøver. Det sigtesæt man anvender, skal indeholde sigter med maskevidde fra 2 til 0,075 mm.

Hvis mindre end 20 % af prøven falder gennem 2 mm sigten, kan der ses bort fra opfrysningssfare. I modsat fald foretages en nærmere undersøgelse af fraktionerne med kornstørrelse < 2 mm.

Jordarternes opfrysningssfarlighed kan bestemmes efter kurver og anmærkninger på fig. 6. Som det fremgår, er det gennemfaldet ved 0,075 mm sigten, der har interesse. Dette gennemfald kan imidlertid ikke bestemmes ved på sædvanlig måde at ryste sigterne. Man skal istedet anvende skylning under rindende vand på følgende måde:

»Efter tørring af jordprøven frasorteres materiale med kornstørrelse > 2 mm. Den resterende del af prøven vejes og anbringes på 0,075 mm sigten, hvor den skylles forsigtigt i ca. 5 minutter. Ved fornyet tørring og vejning kan man bestemme, hvor stor en procentdel af fraktionerne < 2 mm, der har $d < 0,075$ mm.

Hvis procenten er under 5 er prøven ikke opfrysningssfarlig.

Hvis procenten er mellem 5 og 35 må opfrysningssfaren afgøres ved at bestemme kornkurven for alle fraktioner < 2 mm (jfr. note på fig. 6).

Hvis procenten er over 35 er prøven under alle omstændigheder opfrysningssfarlig«.

Hvis man ved ovennævnte prøver finder jordmateriale, der ligger på kanten af opfrysningssfare, bør man enten regne med, at det er opfrysningssfarligt (holde sig på den sikre side) eller overlade afgørelsen til en geotekniker.

Vandindholdet i jorden bestemmes ved prøvegravning eller -boring, helst umiddelbart før frostens indtræden. Man kan dels — ved udtørring — bestemme fugtighedsindholdet i udtagne jordprøver og dels se i hvilken udstrækning, der løber vand til prøvehullet. **Vand- og isindhold**

Overskuddet af is — og hermed optøningsfaren — for en frossen jordprøve bestemmes nemmest ved smeltning af prøven i et måleglas. Det frie vand over jordmaterialet giver et udtryk for de sætninger, man kan forvente ved en optøning af de pågældende jordlag.

Ved smeltning og tørring af frosne prøver på en varm pande, kan man få et billede af, om jordlagene vil flyde eller skride efter optøning. Hvis prøven ved smeltningen flyder ud på panden, er jordlagene farlige, hvorimod de formentlig vil være stabile, hvis smeltevandet løber fra prøven uden at blandes med jordmaterialet.

Undersøgelserne af permafrostens sammensætning udstrækker sig kun til de øverste lag, medmindre man råder over særligt boremateriel. Som hovedregel må man gå ud fra, at man ikke kan få oplysninger om de dybere liggende lag, endsige permafrostens tykkelse. Disse oplysninger har imidlertid heller ikke større interesse, hvis man blot ved valg af en passende funderingsform sørger for at optø permafrosten mindst muligt. I uberrørt tilstand er den, som tidligere nævnt, særdeles stabil og bæredygtig.

b. Overfladeundersøgelser.

Ovennævnte forundersøgelser er alle betinget af en nedtrængen under jordoverfladen; men man kan også skaffe sig en del værdifulde oplysninger ved iagttagelser og målinger på jordoverfladen.

Vegetation En kraftig vegetation tyder på stort vandindhold i det aktive lag og tilsvarende fare for opfrysning ved forekomster af fin mo og grov mjåla. Karakteristisk i så henseende er de lavt liggende tuede og koparrede engstrækninger.

I udprægede permafrostområder tyder en kraftig vegetation tillige på en højtliggende permafrostgrænse. Ved en rydning af vegetationen må man påregne en stærk sænkning af permafrostgrænsen.

I overgangsområder — med spredt permafrost — tyder fugtige vegetationslag ofte på, at der ikke er permafrost på det pågældende sted. (Den spredte permafrost er ofte lokaliseret til forholdsvis tørre områder bestående af finkornede materialer).

»Icing« Ved løsjordslag, der ikke er underlejret af sammenhængende fjeld i eller umiddelbart under det aktive lag, vil forekomst af »icing« tyde på permafrost. Hvis den viser sig tidligt på vinteren ligger permafrostgrænsen højt, hvis den først optræder hen mod slutningen ligger permafrostgrænsen normalt dybere.

Polygon-jord Opfrysningsfarlig jord viser sig som tidligere nævnt ved hævnings af terrainet om vinteren. Disse hævninger er ofte uensartede og giver herved anledning til en materialesortering, idet det grove stenmateriale efterhånden vil skubbes fra de steder, hvor terrainet hæver sig mest, til de steder, hvor det hæver sig mindst. På denne måde samles stenmaterialet i karakteristiske — og advarende — polygoner.

Nivellement Ved at nivellere et område ved henholdsvis slutningen af sommeren og slutningen af vinteren kan man få et nøjagtigt overblik over evt. frosthævninger. Nivellementerne må naturligvis henføres til et punkt, der med sikkerhed ikke er påvirket af frosthævninger.

Solstråling Solvarmen har en meget stor indflydelse på permafrostgrænsens beliggenhed. Solrige områder (sydskrån timer) vil have forholdsvis dybtliggende permafrostgrænse, mens skyggefulde områder (nordskrån timer) vil have højtliggende permafrostgrænse.

Ved opførelsen af bygninger kan man tilsvarende forvente en sænkning af permafrostgrænsen langs sydfacaden, hvor solstrålerne kastes fra facaden ned på terrainet, mens man i reglen får

b) Permafrostområder.

I permafrostområder deler problemerne sig i tre grupper:

- a) opfrysningsfare i det aktive lag,
- β) »icing«,
- γ) optøning af permafrostlagene.

a) opfrysningsfare i det aktive lag.

Opfrysningsfaren kan analogt med det tidligere anførte bekæmpes på en af følgende måder:

1) Fundamenterne forankres i den underliggende permafrost. Hvor langt fundamenterne føres ned i permafrosten afhænger af fundamentets form. Glatte pæle skal føres 2,5—3 gange tykkelsen af det aktive lag ned under terrain.

Ramningen udføres efter, at man har tøet hul i permafrosten med et dampspyd. Pælene må ikke belastes, før de er frosset helt fast d. v. s. 1,5—2 måneder efter ramningen (fig. 10).

2) Opfrysningsfaren kan elimineres ved en dræning af området evt. suppleret med en tilfyldning af grove materialer omkring fundamenterne. Mellem de tilfyldte grove materialer og de omkringliggende opfrysningsfarlige jordlag bør så vidt muligt lægges et lag asfaltpap for at undgå en gradvis indtrængen af finmo og mjåla.

3) Ved grænsen af permafrostområderne, hvor permafrostlaget kan være meget tyndt (ca. 1 m), kan man optø det og ved varme fra bygningen holde det optøet sammen med det opfrysningssfarlige aktive lag (fig. 11). Optøningen af permafrostlaget skal ske inden fundamentsarbejdet påbegyndes, og man skal sikre sig, at det optøede lag er stabilt overfor såvel fundamentstryk som skredfare.

Den sidstnævnte fremgangsmåde må under ingen omstændighed anvendes, hvor permafrostlaget kan have større tykkelse, idet man da vil få en ukontrolabel optøning med uoverskuelige følger for fundamenternes stabilitet.

β) »icing«.

»Icing« under bygninger kan normalt undgås, hvis man sørger

en hævnning af permafrostgrænsen langs den skyggefulde nordfacade (fig. 7).

II. Principielle forholdsregler.

I det følgende skal gives visse hovedretningslinier for udformning af fundamenter til bygninger i områder med vinterfrost og permafrost.

a) Vinterfrostområder uden permafrost.

Hvor vinterfrosten ikke er underlejret af permafrost opstår der normalt kun problemer, hvor det aktive lag består af vandholdige, opfrysningssfarlige materialer.

Man kan løse funderingsproblemerne på en af følgende måder:

1) Forankring af fundamenterne kan i forbindelse med bygningens egenvægt modvirke de opfrysende kræfter. Hvis fundamenterne føres til fjeld, kan de forankres med fjeldbolte. Forankring i løsjordslag kan normalt kun udføres med pæle, eller armerede sænkebrønde, der skal føres mindst 3 gange det aktive lags tykkelse ned under terrain.

2) Opfrysningssfarens kan elimineres ved en dræning af området suppleret med en tilfyldning af grove materialer umiddelbart omkring fundamenterne. Mellem de tilfyldte grove materialer og de omkringliggende opfrysningssfarlige jordlag, bør så vidt muligt lægges et lag asfaltpap for at undgå en gradvis indtrængen af finmo og mjåla (fig. 8).

3) Ved at lede tilstrækkelig varme fra bygningen til de underliggende og omkringliggende jordlag kan man holde dem permanent optøede (fig. 9). Såfremt bygningen har rum under terrain, skal man være opmærksom på, at disse ofte vil være omgivet af vand, hvis området ikke bliver drænet.

Fælles for alle ovennævnte fremgangsmåder er naturligvis, at man må sikre sig, at de jordlag, fundamenterne står på, kan tåle fundamentstrykket.

Ved løsjordslag, der er underlejret af fast fjeld i eller umiddelbart under det aktive lag, kan der forekomme »icing«. Vedr. de forholdsregler, der skal træffes til imødegåelse af »icing«, henvises til næste afsnit, punkt β .

for, at jordlagene under bygningen fryser på samme tid som det omkringliggende terrain.

Dette opnår man ved at ventilere kraftigt med frisk luft under huset og iøvrigt ved en effektiv isolering sørge for, at der ikke ledes varme fra bygningen til de underliggende jordlag.

γ) Optøning af permafrostlagene.

Optøning af permafrostlagene bør så vidt muligt undgås. Ved en god isolering af bygningerne (specielt gulvet) samt en rigelig ventilation med frisk luft mellem bygning og terrain (jfr. punkt β) bliver ændringerne i permafrostgrænsen i reglen ikke store. Punktfundering bør foretrækkes for sammenhængende fundamenter, idet sidstnævnte leder forholdsvis meget bygnings- og solvarme ned i jorden.

Ved yderligere at lægge en gruspude mellem det oprindelige terrain og huset kan man endog — til yderligere sikring — opnå at hæve permafrostgrænsen (fig. 12).

Ved opførelsen af større og kostbare bygværker bør man altid på forhånd undersøge, om de øverste permafrostlag er overfyldt med is. I bekræftende fald må der træffes særlige foranstaltninger, hvis der er fare for, at permafrostgrænsen sænkes efter opførelsen af bygningen.

Man kan føre fundamenterne (pæle) så langt ned i permafrosten (jvf. punkt α 1), at en mindre optøning med sætning af de ovenover liggende jordlag ikke har nogen betydning.

Hvis man vil undgå at føre fundamenterne så dybt ned, kan man i stedet fjerne de optøningsfarlige lag indtil den forventede maximale optøningsdybde og erstatte dem med rene og grove materialer (fig. 12).

Den sidstnævnte metode er dog ret omstændelig og bør kun anvendes, når man råder over effektive jordarbejdsmaskiner og iøvrigt skal spare på den tid, det tager at udføre selve fundamenterne.

Fælles for al permafrostfundering er, som anført ovenfor, at man skal optø permafrosten så lidt som muligt. Dette gælder også for selve arbejdets udførelse. Udgravning for fundamen-

ter skål have mindst muligt omfang (punktfundering), og udgravning og tilfyldning skal foregå indenfor kortest mulige tidsrum.

Det er ligeledes ønskeligt — men sjældent gennemførligt —, at funderingsarbejdet udføres året før det egentlige byggearbejde, således at permafrostgrænsen falder til ro ovenpå forstyrrelserne fra funderingsarbejderne.

Enhver form for terrainregulering bør såvidt overhovedet muligt foregå ved påfyldning. Herved opnår man som nævnt en hævnning af permafrostgrænsen og dermed en extra sikkerhed mod optøning af de oprindelige permafrostlag.

Ved udgravninger kan man derimod ikke undgå en større eller mindre optøning af permafrostlagene med deraf følgende uoverskuelige konsekvenser. Sænkningen af permafrostgrænsen kan godt strække sig over lang tid, således at man kan få sætninger af terrainet med evt. bygninger flere år, efter udgravningsarbejdet er udført.

Ovennævnte forhold bør også tages i betragtning ved udførelsen af jordarbejder i forbindelse med anlæg af veje, landingsbaner, sportspladser m. v.

D. Retningslinjer for udformning af permafrostfundamenter

1) Alment.

Udformning af bygningsfundamenter til områder, hvor der kun er vinterfrost, er så velkendt, at det må anses for unødvendigt at komme nærmere ind på detaljer i denne redegørelse.

Anderledes stiller det sig med permafrostfundamenter, idet disse hidtil kun i ringe omfang er udført på en hensigtsmæssig måde.

Det vil føre for vidt at komme ind på detailleringen af fundamenter til større, permanente bygninger; projekteringen af sådanne fundamenter bør iøvrigt altid overlades til teknikere med videregående kendskab til permafrost.

Funderingen af mindre, permanente huse samt midlertidigt byggeri kan imidlertid godt udføres uden særlig sagkyndig assistance, når nedenstående anvisninger overholdes.

II) Permafrostfundamenter til mindre, permanente bygninger.

Permanente bygninger anbringes kun i områder, hvor det aktive lag ikke er opfrysningssfarligt, d. v. s. enten på sundt fjeld eller grovkornede løsjordslag.

På sundt fjeld kan fundamenterne udføres som traditionelle grovbetonfundamenter, idet der blot skal sørges for en effektiv gulvisolering (min. 10 cm rockwoolbatts). **Fundamenter på fjeld**

På løsjordslag bør husene opføres på tømmerfundamenter bestående af stolper og tvinger. Hvor forholdene tillader det, vil det være hensigtsmæssigt at lægge huset på en gruspude, således at man får bedst mulig isolation mellem hus og permafrost. **Fundamenter på løsjordslag**

På fig. 13 er vist et karakteristisk tømmerfundament. Tvingerne, der boltes til stolperne, har overkant beliggende ca. 90 cm over færdigt terrain.

Stolperne anbringes med en indbyrdes afstand på 2—3 m og føres godt en meter ned under færdigt terrain. Enden af stolperne forsynes med en travers, der tjener til fordeling af tryk-
ket på grunden og til forankring af bygningen.

Sokkelbeklædningen udføres af affasede brædder, således at man får ventilation, men ikke solstråling under huset, og gulvet isoleres med min. 10 cm rockwoolbatts.

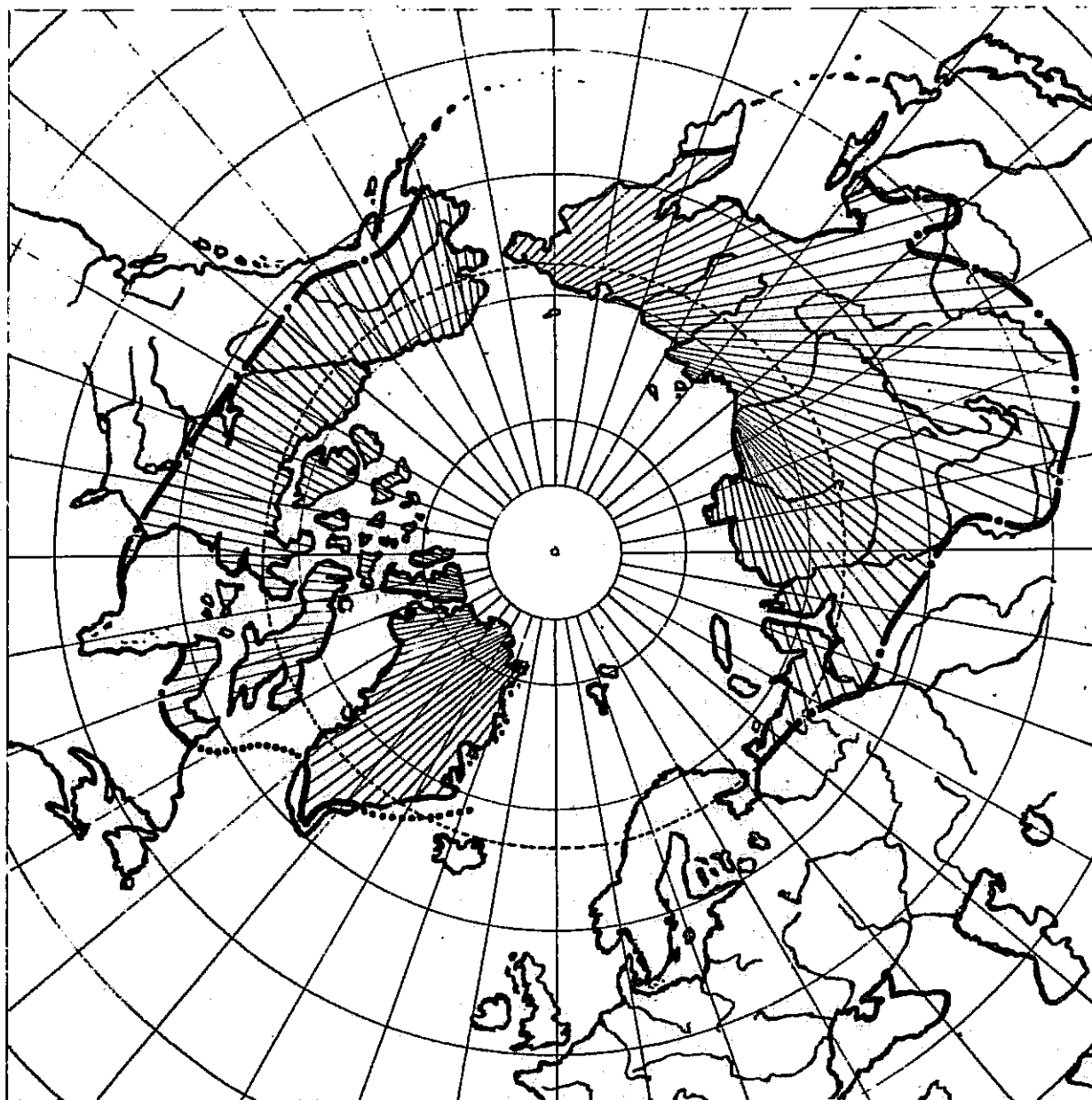
III) Permafrostfundamenter til midlertidige bygninger.

Midlertidige bygninger kan funderes som ovenfor angivet, hvis det aktive lag ikke er opfrysningssfarligt.

Hvis det aktive lag er opfrysningssfarligt er det bedst at anbringe bygningsfundamenterne ovenpå terrain.

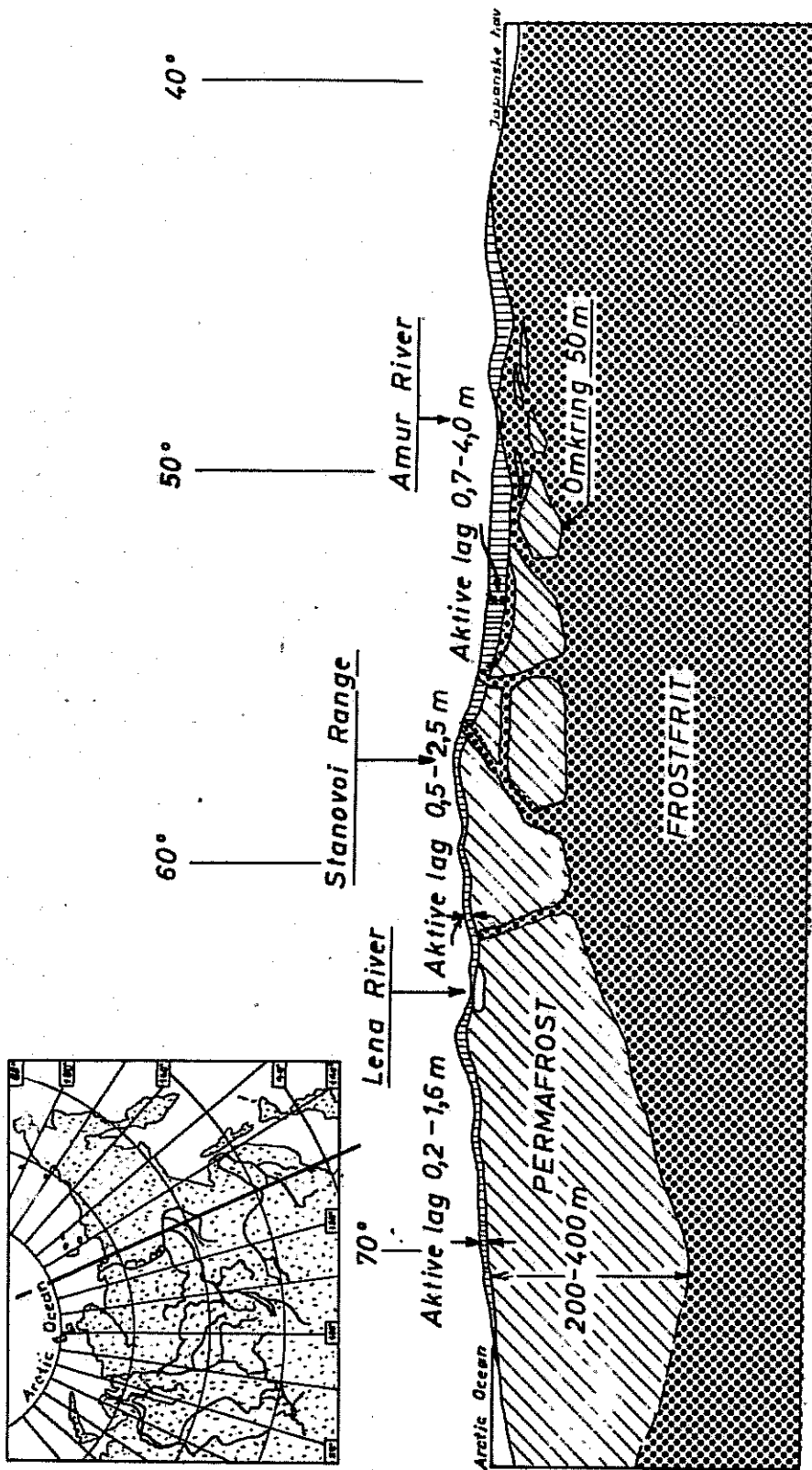
Bygningen vil da blive udsat for samme hævnings og sænkninger som det aktive lag, men forskydningerne vil ikke akkumulere sig fra år til år (jvf. fig. 3).

Der skal under alle omstændigheder være god ventilation under bygningerne og hvis de er opvarmede, tillige en effektiv gulvisolering.



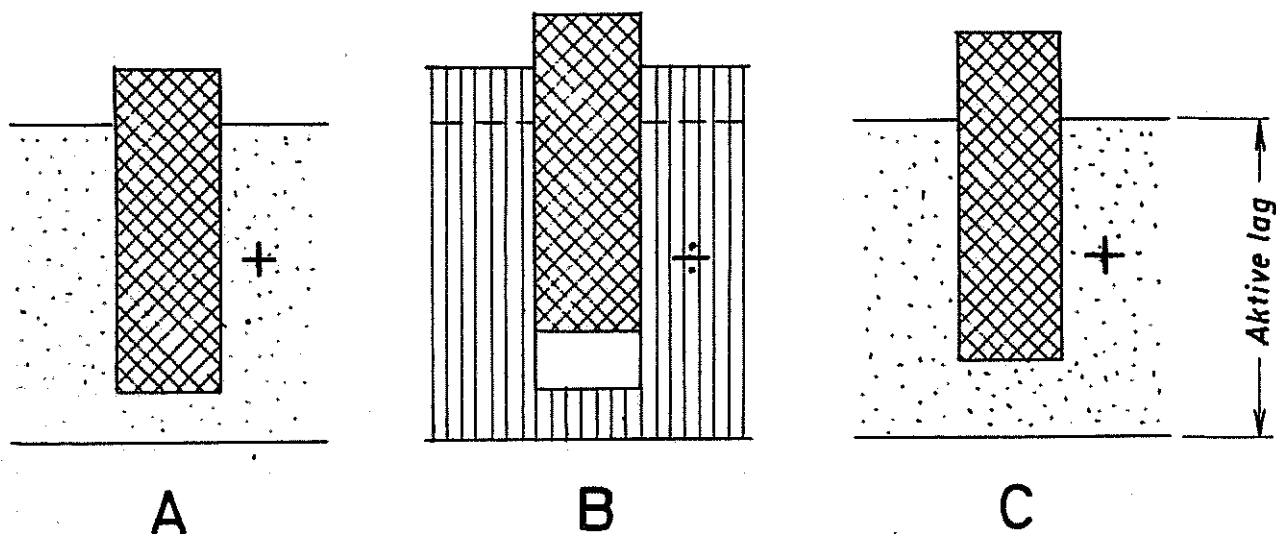
Permafrostområderne på den nordlige halvkugle
(efter S.W.Muller: Permafrost)

Fig. 1.



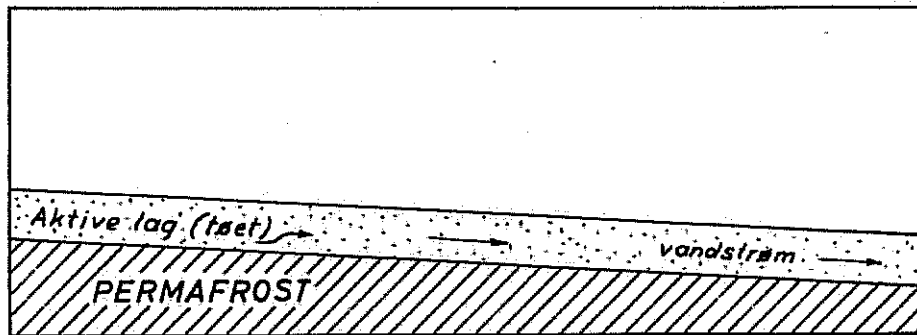
Tvoersnit igennem Sibirien fra det arktiske Ocean til det japanske hav, visende den relative tykkelse af permafrosten og det aktive lag. (efter S.W.Muller: Permafrost)

Fig. 2.

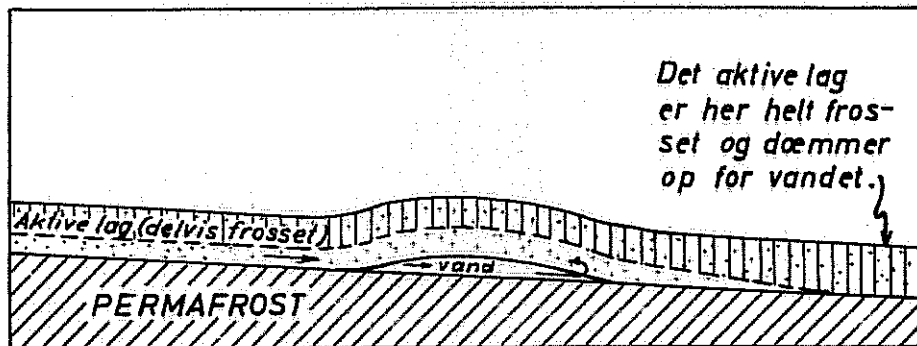


- A.** Aktive lag i tørt tilstand, fundament i oprindeligt niveau.
- B.** Aktive lag i frossen tilstand, frosthævning af aktive lag og fundament.
- C.** Aktive lag atter i tørt tilstand med samme tykkelse som ved „A”, fundamentet har beholdt en del af forskydningen.

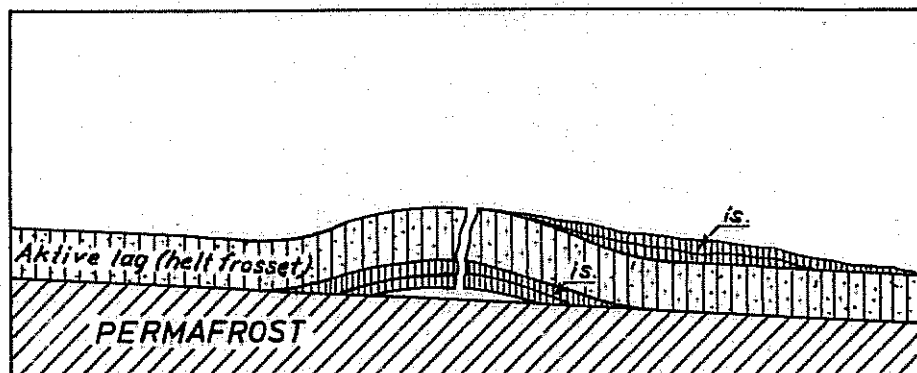
Fig. 3.



Grundvandet løber frit i aktive lag

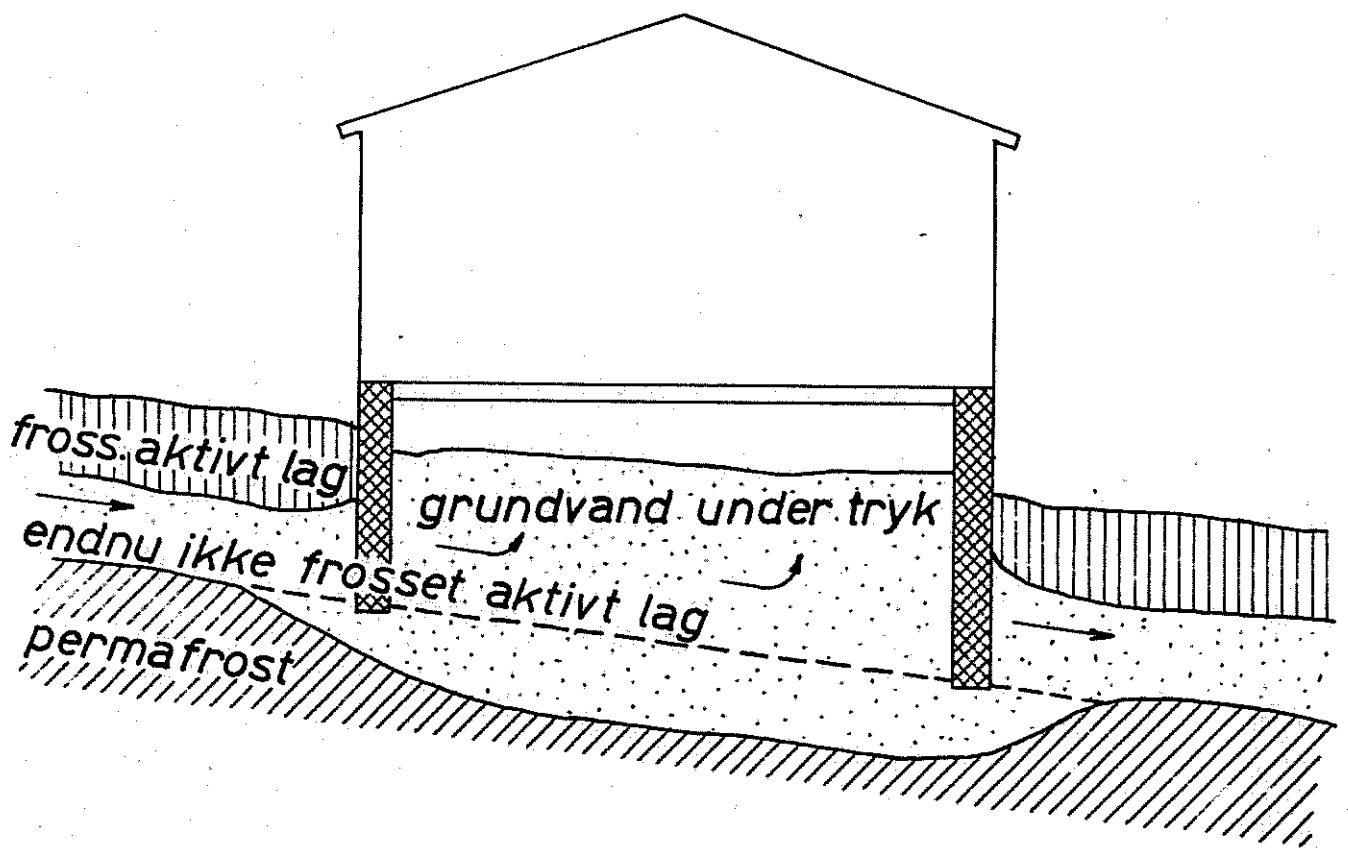


Trykket fra grundvandet skyder jordoverfladen op



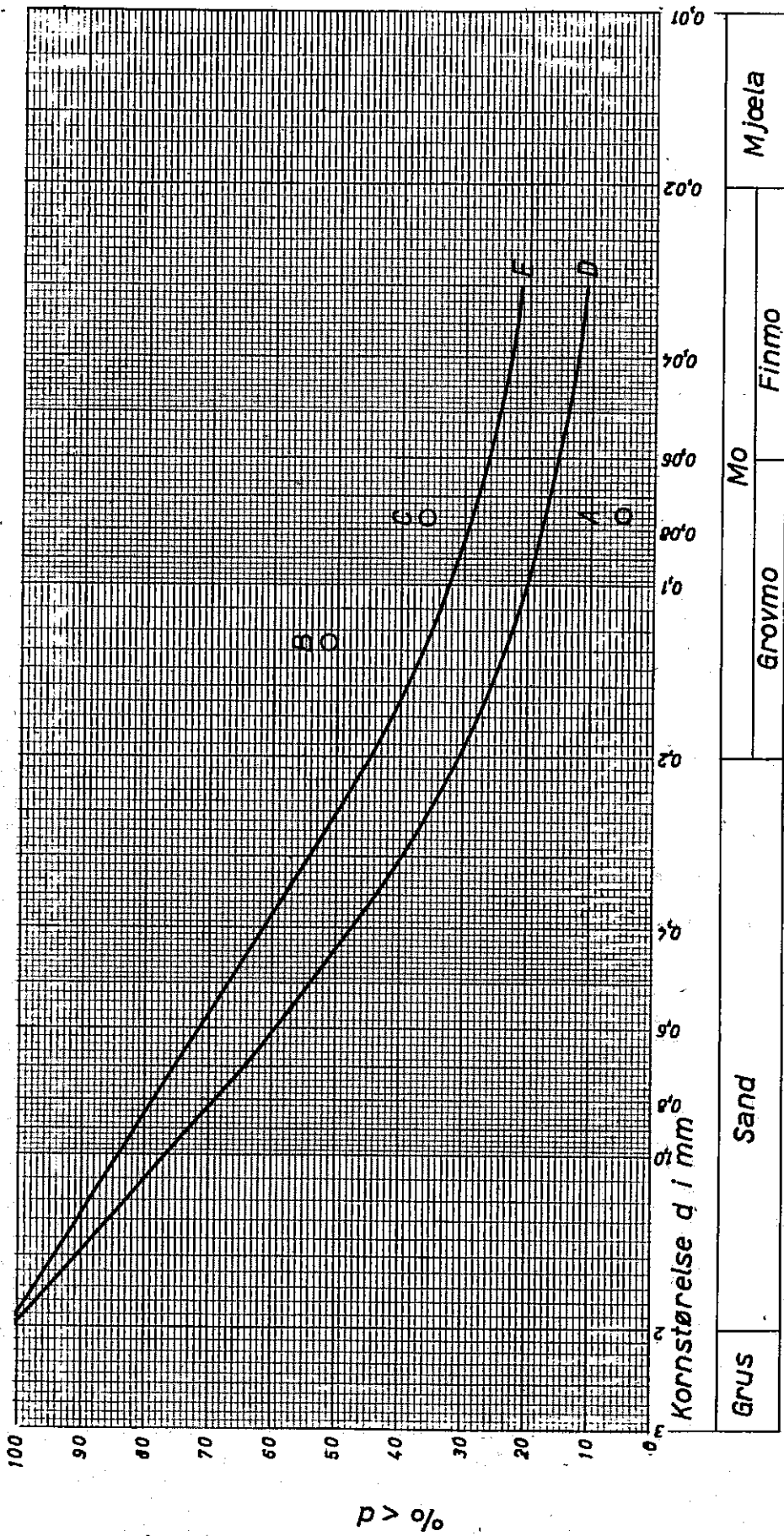
Trykket fra grundvandet har sprængt en åbning i den frosne jordskorpe og der har dannet sig „icing” nedenfor åbningen
(efter S.W.Muller: Permafrost)

Fig. 4.



Grundvandet, der står under tryk, siver op gennem de frostfri jordlag under bygningen.

Fig. 5.



Opfrysningsfaren bestemmes på grundlag af fraktionerne < 2 mm.

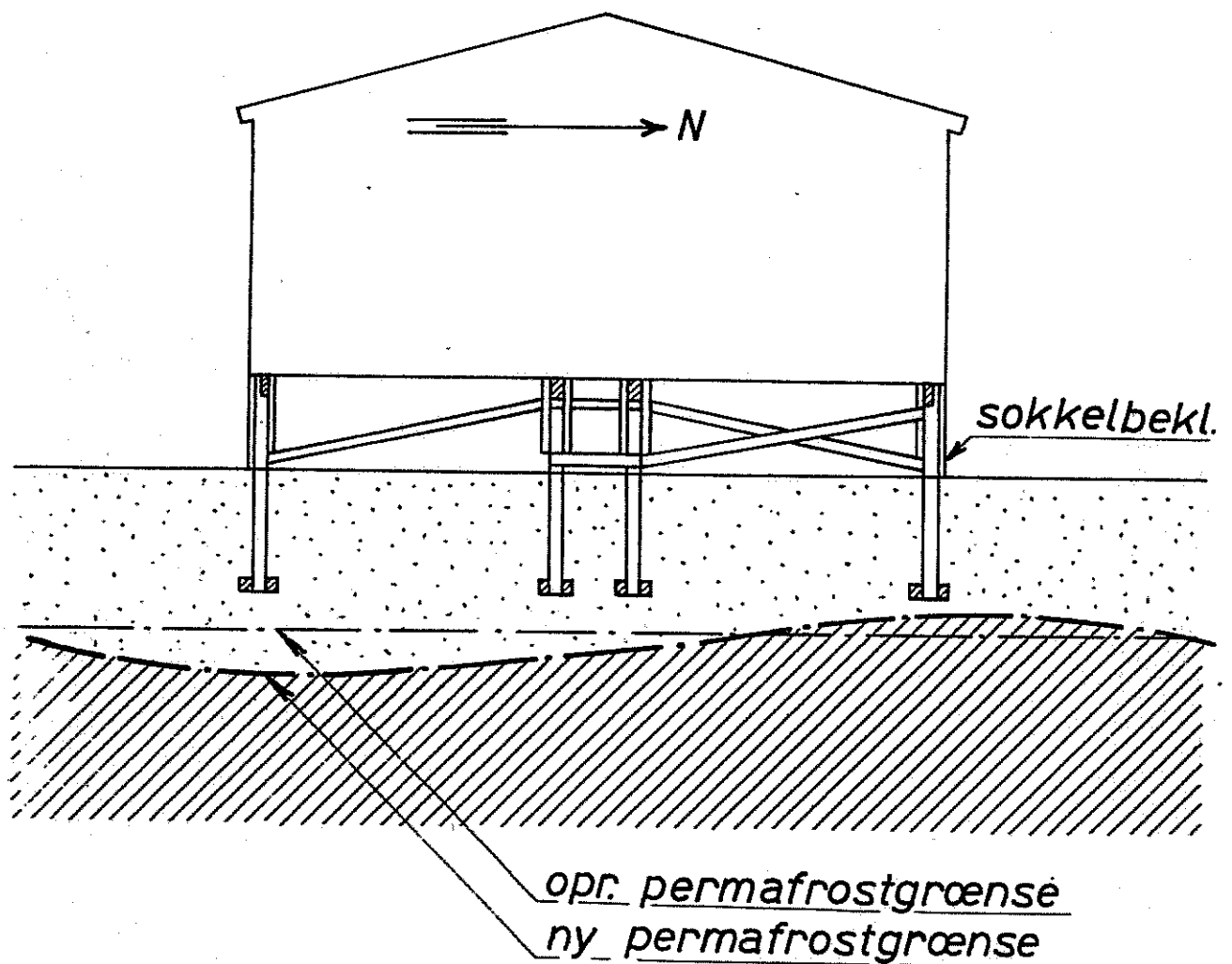
1. Alle jordarter, der indeholder mindre end 5% med $d < 0,075$ mm d.v.s. jordarter, hvis kornkurve går under pkt. "A" er ikke opfrysningsfarlige.

2 Øvrige jordarter deles:

a. Sedimenter er ikke opfrysningsfarlige, når mindre end 50% er mindre end 0,125 mm, og samtidigt ikke mere end 35% er mindre end 0,075 mm, d.v.s. når kornkurven ligger under punkterne "B" og "C" Sedimenter hvis kornkurve ligger over punkterne "B" og "C" er opfrysningsfarlige.

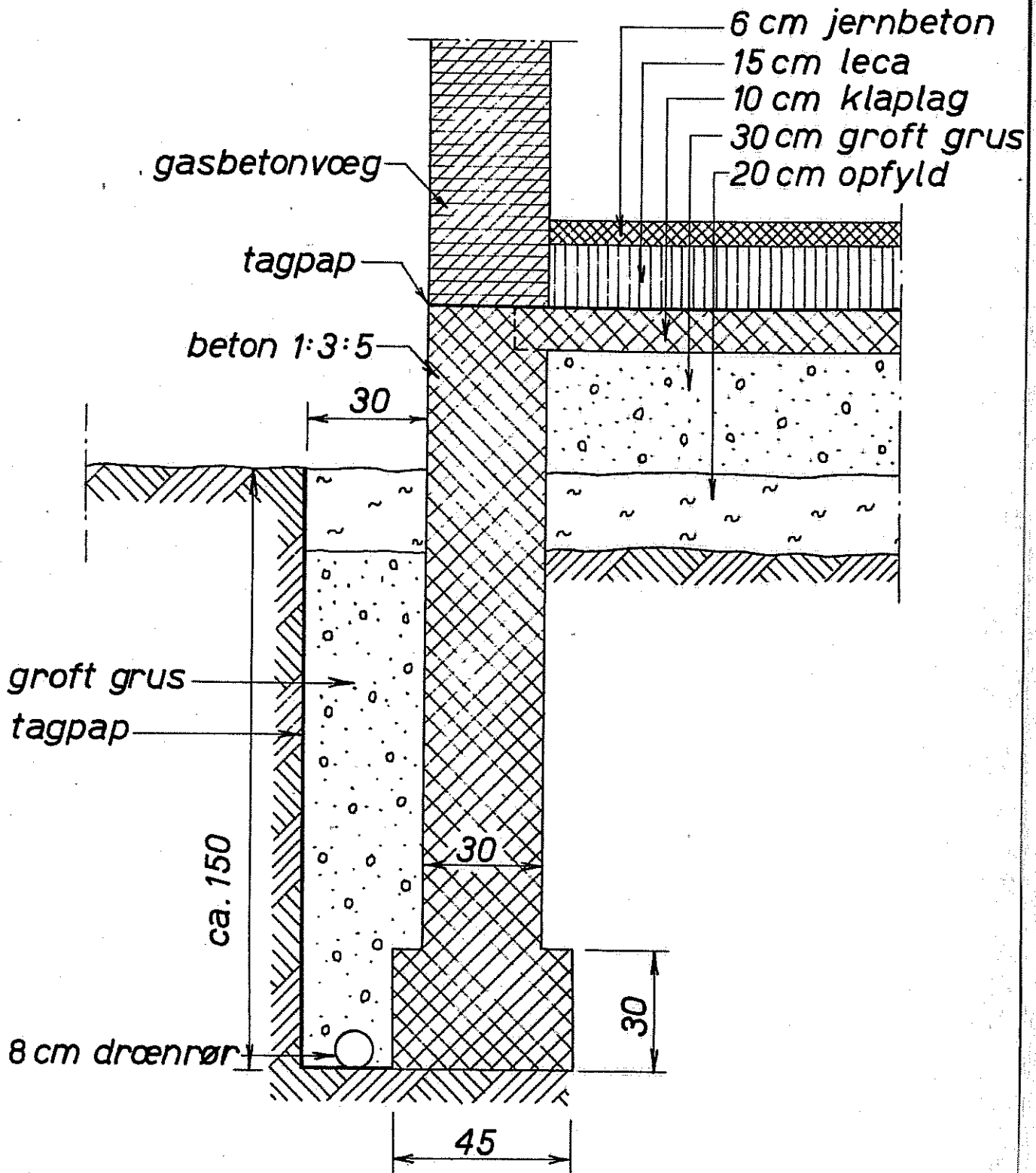
b. U sorterede jordarter er ikke opfrysningsfarlige når kornkurven ligger under kurve "D". U sorterede jordarter, hvis kornkurve ligger over kurve "E" er opfrysningsfarlige.

Fig.6.



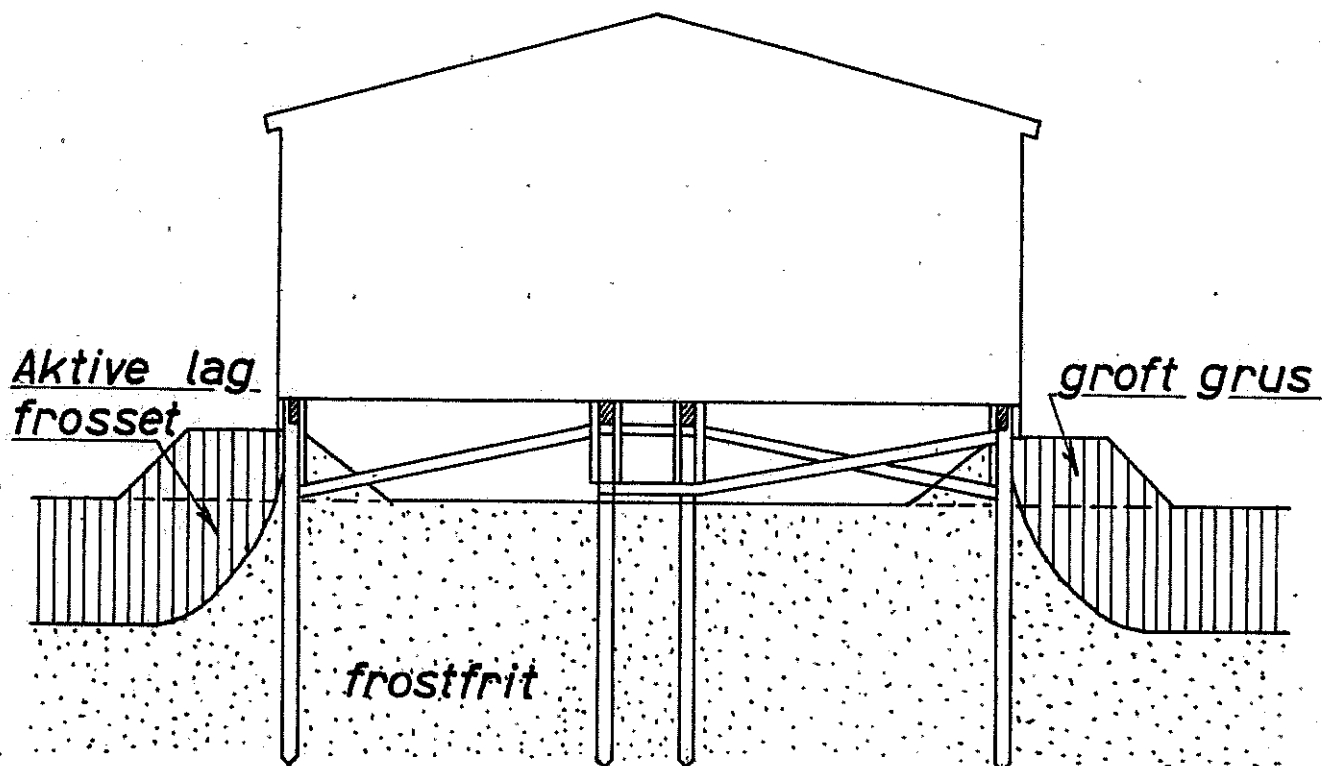
Ændring i permafrostgrænse efter opførelse af hus.

Fig. 7.



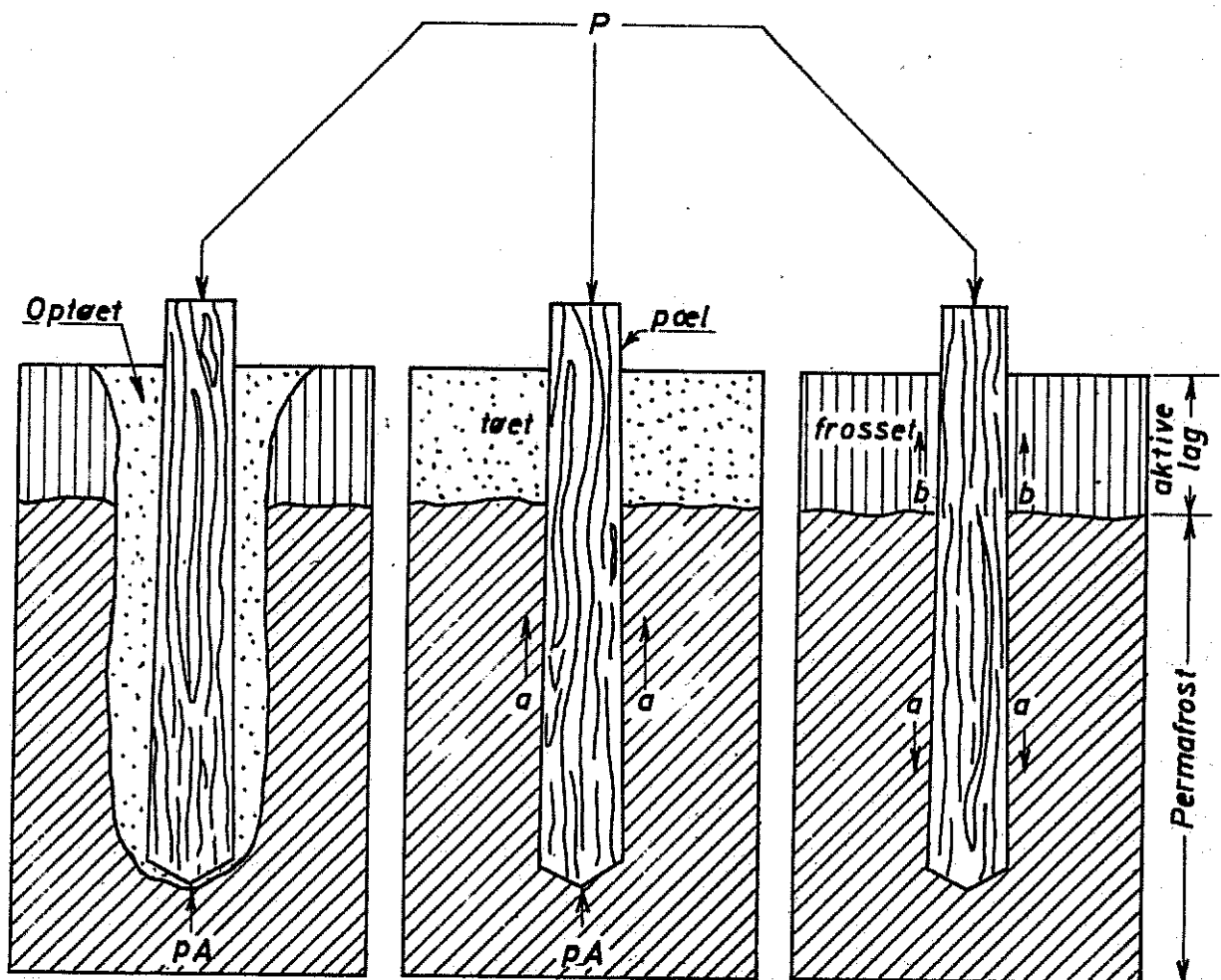
Fundamentsdetail 1:20

Fig. 8.



Jordvoldene langs bygningens periferi
forhindrer sammen med varmetrans-
missionen fra bygningen frostens ned-
trængning i de opfrysningssfarlige jord-
lag omkring pølene.

Fig. 9.



Umiddelbart efter ramning

Sommer

Vinter

Tilladelig belastning: $p \times A$

Tilladelig belastning: $a + p \times A$

For at forhindre opfrysning skal:
 $P + a > b$

$A =$ Pøelens areal

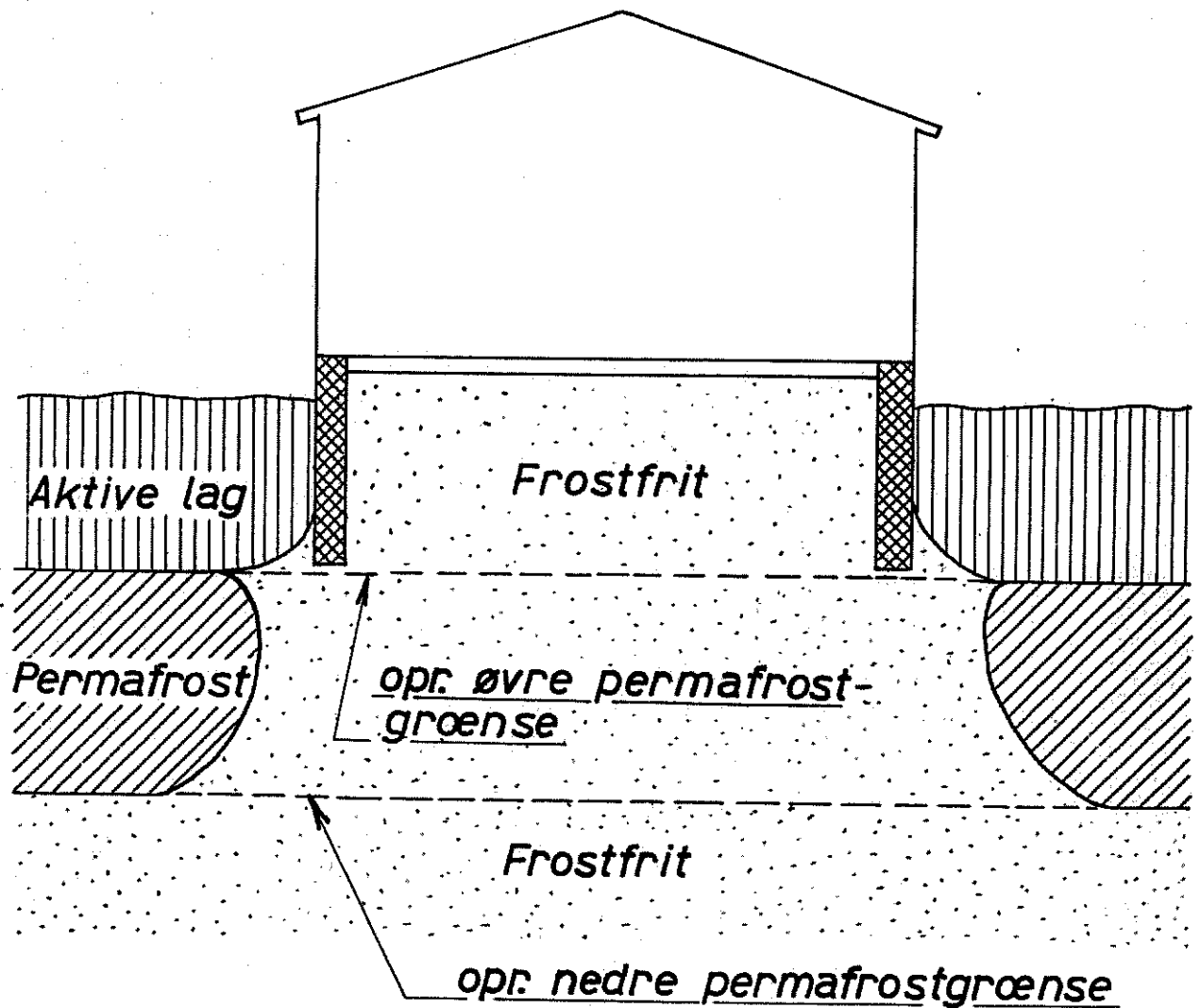
$p =$ Tilladelige tryk på permafrost

$a =$ Vedhængningskraft mellem pøel og permafrost.

$b =$ Vedhængningskraft mellem pøel og vinterfrost (aktive lag)

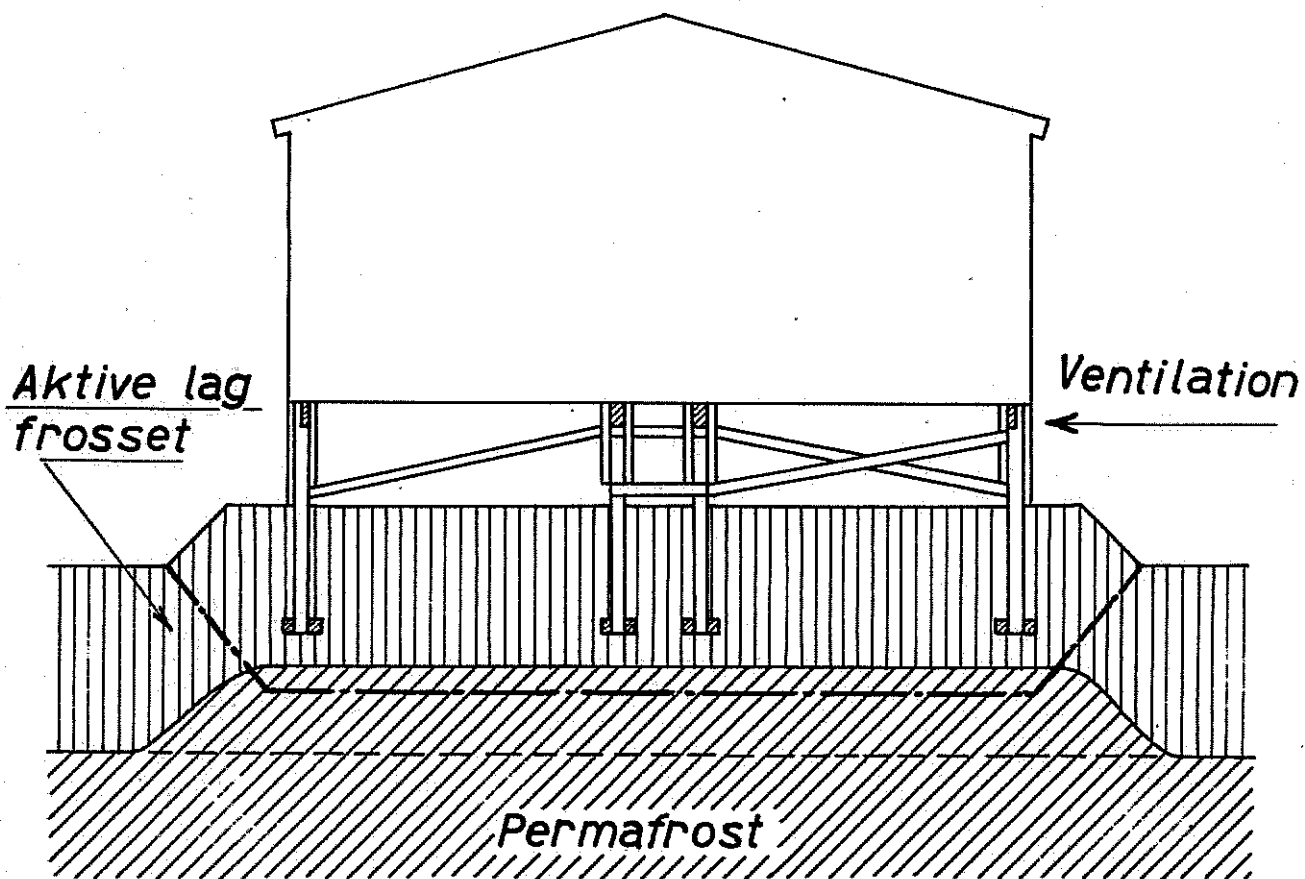
Påvirkning på pøle forankret i permafrost

Fig. 10.



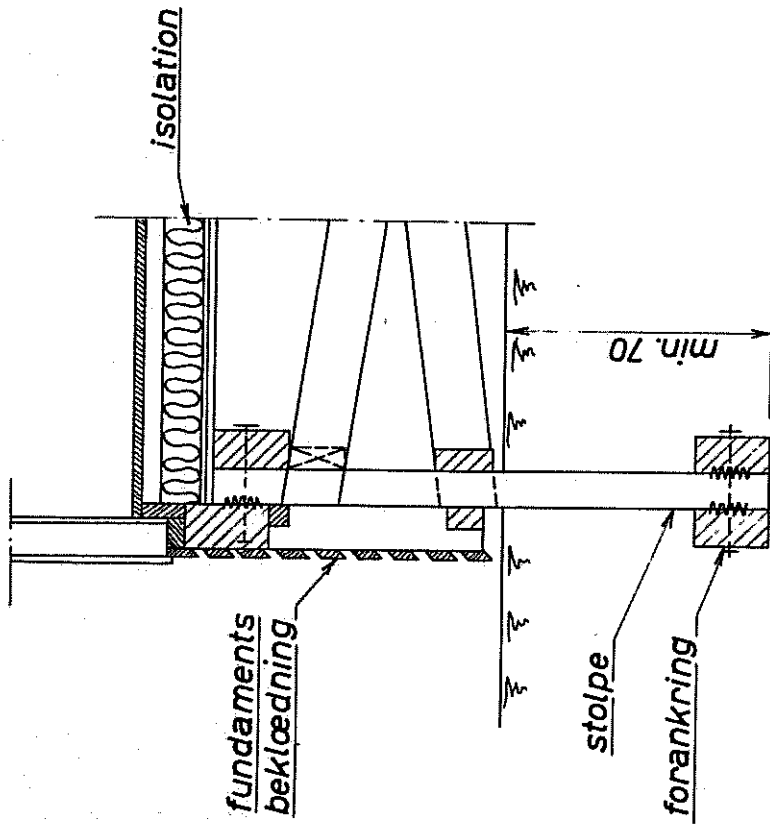
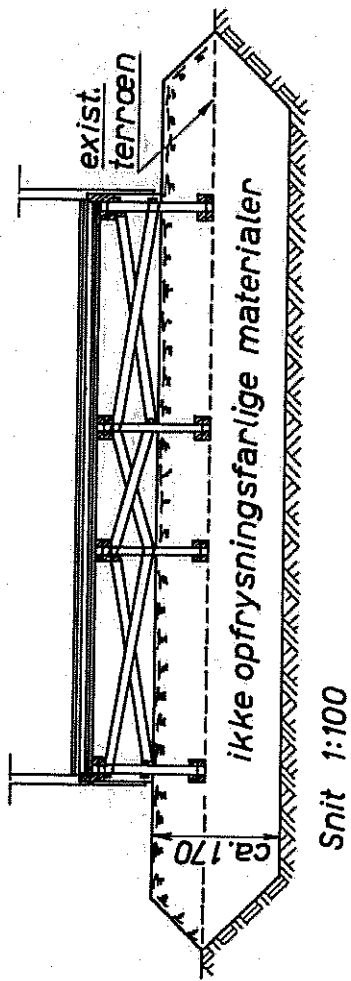
Varmen fra bygningen holder de underliggende jordlag frostfrie.

Fig. 11.

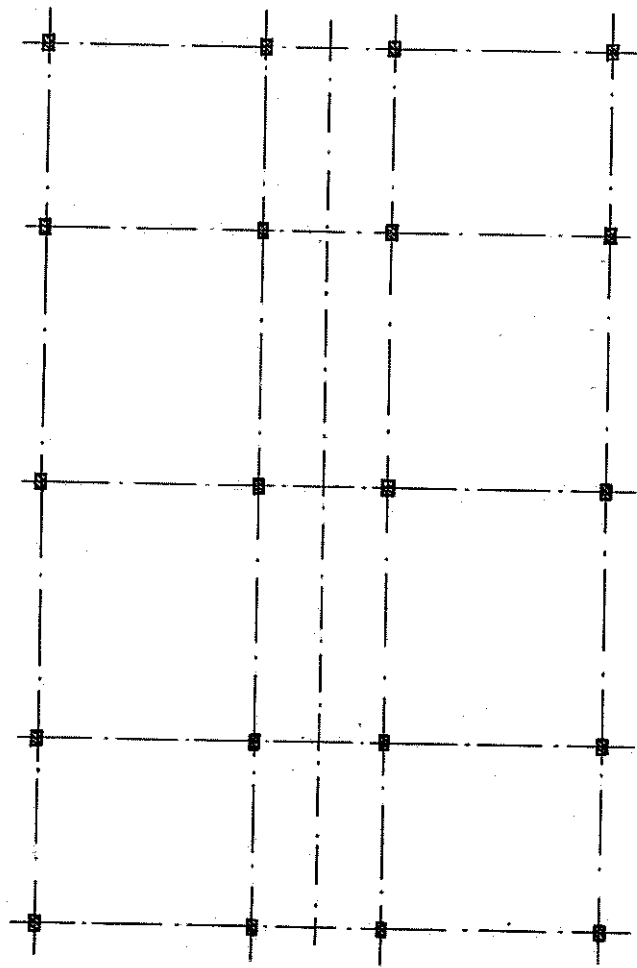


Gruspudden mellem hus og terrain hæver permafrostgrænsen. Den stiplede linie angiver nedre grænse for eventuel opfyldning med isfri grovkornede materialer.

Fig. 12.



Fundamentsdetail, 1:20.



Stolpeplan 1:100

Permafrostfundament for mindre bygning.

Fig. 13.