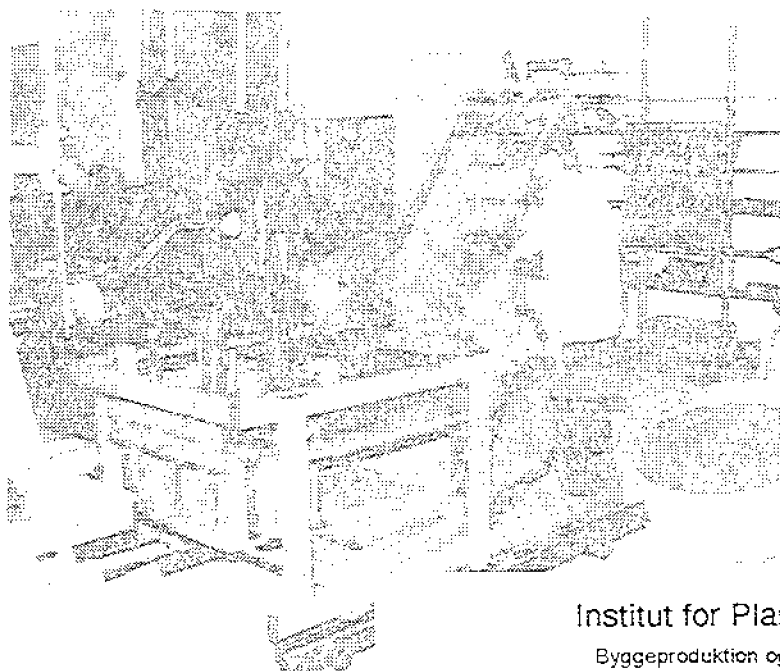


Axel Gaarslev og Frits Gravesen

LOKALPRODUKTION AF SOIL-CEMENT BYGGE-
BLOKKE I GRØNLAND



Institut for Planlægning

Byggeproduktion og -ledelse

DTU



380070002009

PROJEKTET:

"LOKAL BOLIGPRODUKTION I GRØNLAND"

Instituttet for Anlægsteknik

og

Instituttet for Husbygning

Danmarks tekniske Højskole

FORORD

Grønland var som bekendt en dansk koloni indtil 1953, hvor Grønland blev en del af riget, for herefter i 1979 at få sin hjemmestyreordning.

I nyere tid har byggeriet i Grønland altid været klart styret fra og domineret af Danmark, og selvom boligområdet også fortsat er et statsanliggende og således ikke omfattet af hjemmestyreordningen, er der efter ordningens indførelse opstået et stærkt ønske i Grønland for at ændre i denne tilstand.

Ved hjemmestyrets boligkonference i Sisimiut i 1981 kom det klart frem, at man fra grønlandsk side ønskede større indflydelse på området og ønskede effektive midler mod: den voksende boligmangel, de stigende boligpriser, den væsentlige grønlandske underbeskæftigelse i sektoren samt mod den høje importrate af byggematerialer og know-how.

For at fremme en sådan udvikling blev der ultimo 1981 indgået en samarbejdsaftale mellem hjemmestyret og Danmarks tekniske Højskole.

Hovedmålet for dette samarbejde har været at udvikle bygningskomponenter og konstruktionsprincipper, hvori disse anvendes, og som er egnede for lokalproduktion i mindre og afsides liggende by- og bygdeområder med en befolkning med forholdsvis lille eller ingen teknisk og håndværksmæssig know-how.

Som led i projektet er der arbejdet med 2 hovedtyper af bygningskomponenter: en byggeblok fremstillet af lokale grønlandske materialer og et simpelt stressed-skin træelement af krydsfiner. Herudover er der udviklet en metode til simpel, lokalproduktion af celleplastisolering.

Et andet vigtigt led i projektet har været at beskrive de udviklede bygningskomponenters anvendelsesmuligheder, fra selvbyggerhuse og fangsthytter i bygder og yderdistrikter over småhusbyggeri til koncentrerede boligformer i bymæssig bebyggelser.

721 Gaa

INSTITUTTET FOR ANLÆGSTEKNIK

I sommeren 1983 er der herudover indledt en række forsøgsbyggerier for i praksis at afprøve de udviklede bygningskomponenter og konstruktionsprincipper.

Som led i projektet bliver der løbende udgivet rapporter mv. om forløbet. Rapporteringen kan opdeles i følgende grupper:

(a) Generelle rapporter om projektets udvikling, status og planer.

Disse rapporter er primært beregnet for en løbende orientering af hjemmestyret og de grønlandske kommuner, men udsendes også til en række andre instanser i Grønland og Danmark. Disse rapporter har såvel grønlandsk som dansk tekst.

(b) en række rent tekniske rapporter om udvikling, produktion, økonomi og anvendelsesmuligheder af de forskellige bygningskomponenter, der er udviklet.

Denne rapportserie henvender sig primært til en teknisk kreds og udsendes til primært teknikere i Grønland og Danmark. Rapporterne er udformet på dansk.

(c) en række populærvidenskabelige beskrivelser af projektet.

Disse beskrivelser er primært beregnet for en offentlig orientering i Grønland om projektet. Beskrivelserne er normalt på grønlandsk, men tilsvarende dansksprogede orienteringer er også udsendt.

En ajourført fortegnelse over ovennævnte publikationer vil kunne fås ved henvendelse til institutterne.

Nærværende rapport om produktion af byggeblokke i Grønland tilhører gruppen af tekniske rapporter. Planlægningen og gennemførelsen af samtlige forsøg i nærværende rapport er udført af Kristian Lennert som led i et eksamensarbejde ved Laboratoriet for Bygningsmaterialer.

København, november 1983

Frits Gravesen

Axel Gaarslev

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	1
INDHOLDSFORTEGNELSE.....	3
UDNYTTELSE AF GRØNLANDSKE MATERIALER TIL BOLIGBYGGERIET.....	4
LOKALE MATERIALEFOREKOMSTER VED SISIMIUT.....	11
Generelt.....	12
Analyse af lokale materialeforekomster.....	13
Overvejelser ang. optimal sammensætning af tilslag.....	15
TEORETISK PROPORTIONERING AF SOIL-CEMENT BYGGEBLOK.....	18
MASKINTYPER OG VALG HERAF.....	26
PROPORTIONERING AF BYGGEBLOK MED GIVEN MASKINTYPE.....	34
Generelt.....	35
Støbeforsøg med den proctorbestemte blanding.....	38
Endelige forsøgsserier.....	40
Konklusion ang. blandingsforhold.....	47
ANVENDELSESMULIGHEDER, ØKONOMI & BESKÆFTIGELSE.....	50
RESUME & KONKLUSION.....	56
LITTERATURFORTEGNELSE.....	59

UDNYTTELSE AF GRØNLANDSKE
MATERIALER TIL BOLIGBYGGERIET

Traditionelt var det tørv, der som lokalt materiale blev udnyttet i husbyggeriet. Udnyttelsen af dette materiale gav boliger med store hygiejniske problemer, og både af denne grund og som følge af materialets knaphed i umiddelbar tilknytning til de bebyggede områder, må det anses for utænkeligt idag at basere en egentlig husproduktion på dette materiale.

Granit findes jo i ubegrænsede mængder i Grønland, og der har da også gennem årene været flere forslag til at udnytte granitten mere eller mindre uforarbejdet i huskonstruktionerne. En brydning af materialet gennem sprængning er så kostbar, at en sådan løsning lokalt næppe er realistisk. De forskellige forslag, der har været fremsat, har derfor også været baseret på anvendelse af løse, naturlige granitblokke. Dette gælder både det forslag, der blev fremsat af ark. John Andersen og de af os selv i rapporten: Lokal boligproduktion i Grønland - oplæg til en rejse, foråret 82 skitserede huse.

Problemet med disse løsninger er dog den, at der rent faktisk kun meget få steder i Grønland findes større samlede mængder af løse granitblokke i umiddelbar tilknytning til beboede områder. Vel findes der flere steder store mængder af delvis eroderet granit, den såkaldte ur, men transport heraf til de lokale bebyggelser er ofte prohibitiv.

Der findes enkelte helt lokale fjeldforekomster, som f.eks. den skifrede type fra Igaliko, som eventuelt kunne anvendes ret umiddelbart, men disse forekomster er så spredte og lokale, at en mere generel løsningsmodel ikke kan baseres herpå.

Sedimentære aflejringer findes derimod overalt i Grønland og fragtes allerede idag ind til næsten alle bebyggelser for at finde anvendelse i vejbyggeriet eller til betonfremstilling. De mest fintkornede sedimenter som ler findes kun i meget lille omfang, hvorfor en fabrikation f.eks. af teglsten eller - blokke ikke er mulig. Ligesom er forekomsterne af kalk og kridt meget beskedne, hvilket umuliggør en lokal cementproduktion.

Fraktionerne silt, sand og grus findes derimod næsten overalt både som hav- og som landaflejringer, og en udvidet anvendelse af disse råmaterialer til husbyggeriet synes mest oplagt.

Visse fraktioner af disse materialer findes allerede idag anvendelse i byggeriet som in-situ støbt beton.

En udvidet anvendelse heraf f.eks. til facader og også til småhusbyggeriet ville medføre et udvidet forbrug af lokale materialer, jvnf. f.eks. de tanker der har været herom i Christianshåb kommune. Erfaringsmæssigt er pladsstøbt beton dog meget dyr i Grønland - vel primært pga. en ringe genanvendelse af formmateriellet.

Sidstnævnte forhold kunne afhjælpes gennem en præfabrikering af betonelementer til boligbyggeriet. For at gøre en sådan løsning økonomisk attraktiv fordres en udtalt standardisering af bygningskomponentforbruget i de små, lokale og afsondrede markeder, og løsningen vil kun være realistisk på steder med et godt udbygget vejnet, idet elementtransporten stiller krav om gode transportveje helt frem til bebyggelserne. Givet de nævnte forudsætninger ville en sådan strategi medføre et væsentligt forøget forbrug af lokale materialer, og på længere sigt kan det ikke afvises, at en sådan fremgangsmåde er den rigtige. Hvis man ser bort fra det (de) største bysamfund i Grønland idag, vil et præfabrikeret betonbyggeri dog ikke idag være en realistisk løsning.

Langt den dominerende mængde af u-lande i verden står i et problem ganske som det, man står med i Grønland. Man har et ønske om at udnytte en voksende, ufaglært, arbejdsløs befolkningsgruppe og samtidig et ønske om nyttiggørelse af lokale materialer til byggeriet.

De fleste steder vælges en løsning baseret på en lavteknologisk produktion helt lokalt af byggeblokke af lokale materialer som ler, sand og grus eller i form af såkaldt soil-cement, hvor de naturlige jordforekomster direkte stabiliseres med cement eller andet stabiliserende materiale.

Også i forhold til Grønland vil en sådan løsning medføre en række fordele:

- (1) det vil indebære en præfabrikering af en simpel standard-komponent, der vil kunne anvendes i en lang række situationer, uden at nogen større standardisering af byggeriet først er nødvendig.
- (2) præfabrikeringen vil muliggøre en effektivisering af produktionen, og
- (3) muliggøre at produktionen kan overflyttes til perioder af året med ledig arbejdskraft.
- (4) produktionen kan udføres lavteknologisk, hvilket muliggør en lokal produktion selv i små samfund, og
- (5) en udvidet anvendelse af ufaglært arbejdskraft.
- (6) byggeblokke er - i hvert fald ifht. betonelementer - nemmere at transportere lokalt.
- (7) en byggeblok vil ikke stille samme krav til materiale-sammensætning som en betonkonstruktion, hvilket muliggør anvendelse af et større spektrum af lokale forekomster.

En sådan løsning vil dog også medføre en række uheldige forhold:

- (1) der er stadig en hel del arbejde, der skal udføres på stedet med råhuskonstruktionen, og dette kræver faglært eller tillært arbejdskraft og med en kvalifikationssammensætning, der er knap i Grønland idag.
- (2) blokkene skal f.eks. opmures med mørtel. Hvis der ikke udføres udvidede foranstaltninger, må temperaturen i denne periode ikke falde under -5°C . Udførelsen på stedet båndlægges derfor - f.eks. til forskel for træbyggeriet - til bestemte perioder, der specielt i de nordlige dele af Grønland er ret korte. Disse ulemper kan evt. afhjælpes delvis ved at anvende sammenlimning eller - støbning.
- (3) løsningen er kun realistisk, hvor egnede materialer findes i umiddelbar nærhed af byggeriet, eller hvor materialer nemt kan transporteres til bebyggelsen og transportforholdene lokalt er egnede.

Alt taget i betragtning er vi dog nået til den konklusion, at en nærmere undersøgelse af en lokal byggeblokproduktion bør foretages, vel vidende, at løsningen kun er egnet de steder, de lokale materialer og de ydre forhold er passende, og at produktet aldrig vil blive et standardprodukt, men må sammensættes individuelt efter de lokale forhold.

En noget lignende forsøgsserie udføres iøvrigt også af GTO idag, idet man forsøger at anvende en byggeblok af Leca-sten. En sådan blok har den fordel fremfor den af os undersøgte, at den i sig selv har en isolerende effekt. Når vi alligevel ikke har ment, at den repræsenterer den optimale løsning, skyldes det, at den ikke er baseret på grønlandske materialer, men på importeret Leca. Leca-blokkene importeres idag færdige til Grønland, men vil senere evt. kunne produceres lokalt, men dog altid på basis af importerede råvarer.

De byggeblokke, der vil blive arbejdet med i dette projekt, vil helt blive baseret på lokale tilslagsmaterialer. Alt efter lokaliteten vil de blive udformet som betonblokke eller soil-cement blokke. Blokkene vil alle blive stabiliseret med cement, og brugen heraf vil blive søgt minimeret mest muligt.

Fastsættelsen af en optimal blokstørrelse er vanskelig. Ved studier af udenlandske kilder synes en blokstørrelse på 39 x 19 x 19 cm dog helt dominerende (svarende til et vandret modul på 40 cm og en skiftegangshøjde på 20 cm).

To hovedtyper af blokke ønskes produceret, en hulblok til alm. opmuringsbrug og evt. som fundamentsblok til udstøbning, og en massiv blok til koncentrerede belastninger og evt. til direkte opmuring af fundamenter. Det valgte blokformat er vist på næste side i fig. 1.

For at reducere antallet af varianter mest muligt tænkes blokkene anvendt i et simpelt halvstensforbandt. Enkelte specialblokke ($\frac{1}{2}$ sten) skal dog kunne fremstilles til vinduesfalse og lign.

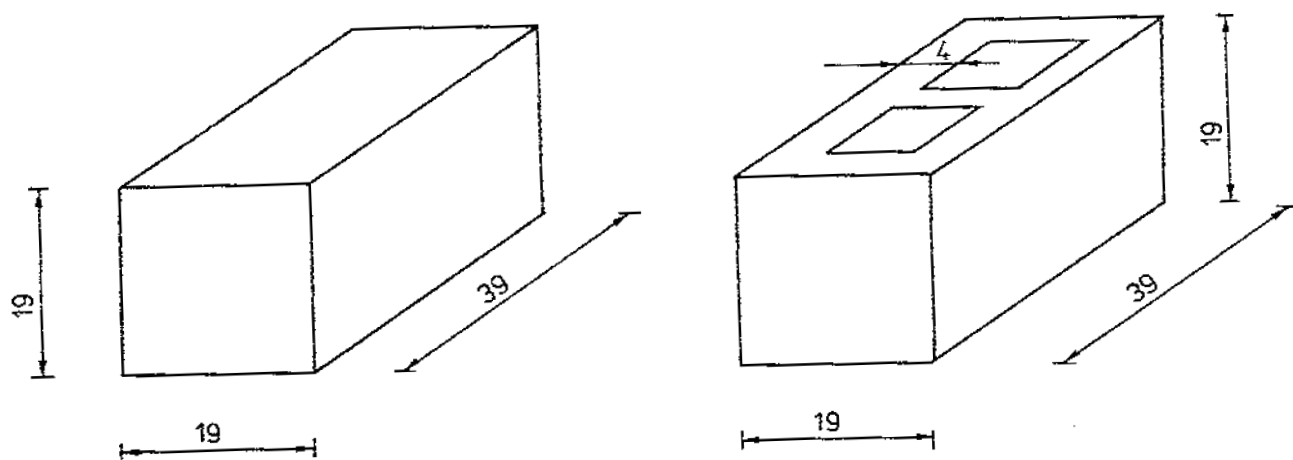


Fig. 1: Blokstensformater

At anvendelse af en byggeblok som den omtalte allerede er prøvet i Grønland, fremgår af nedenstående billeder. Disse stammer fra de gamle, militære bygninger opført af amerikanerne i Narssarssuaq. Blokkene viser sig stort set identiske i form med de af os anvendte. Som det ses af billederne, har der ikke (på nær malingen) været problemer med holdbarheden.

Fig. 2 :
Bebyggelse ved
Narssarssuaq

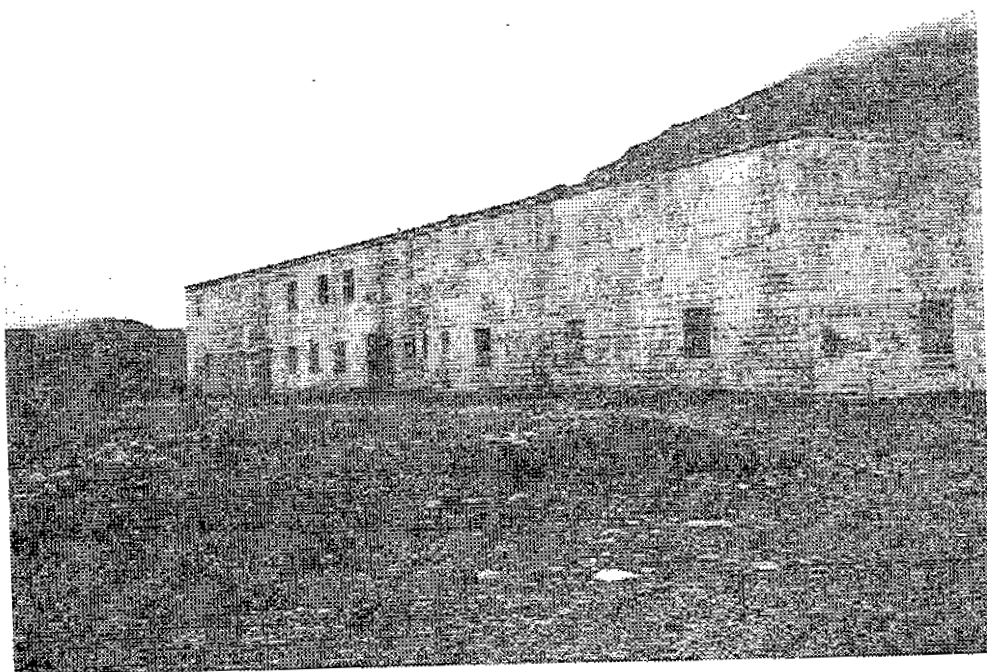




Fig. 3: Detalje af murværk i bygning fig. 2.

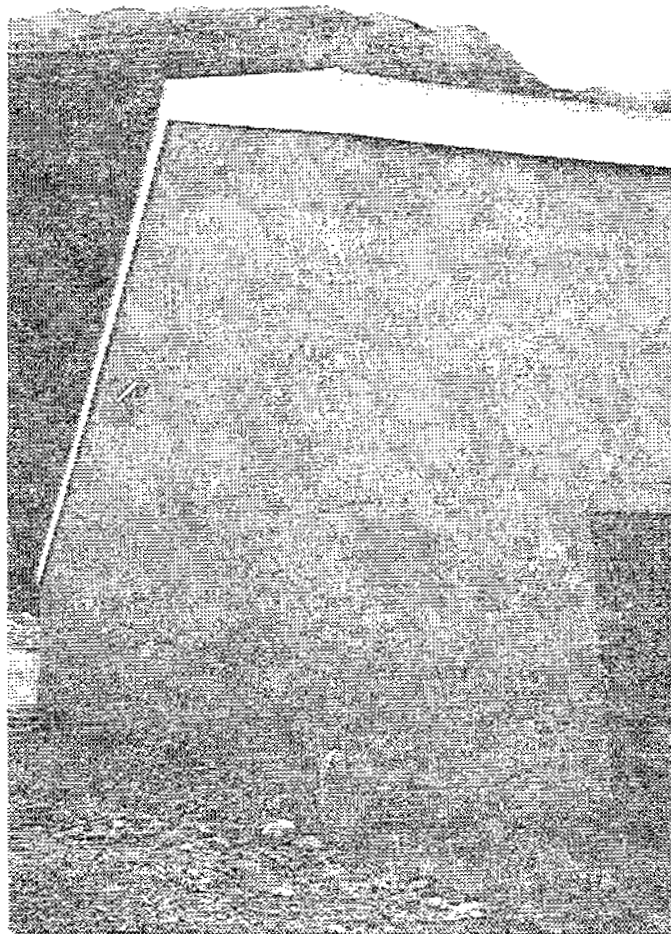


Fig. 4: Velholdt
bygning af samme
materialer, Nars-
sarssuaq.

LOKALE MATERIALEFOREKOMSTER
VED SISIMIUT

Generelt

Som tidligere nævnt, er projektets grundlæggende idé, at lokal-fremstille byggeblokke af de materialer, der er egnet hertil, på den pågældende lokalitet.

Da der således ikke er tale om proportionering og produktion af et standardprodukt, var det nødvendigt for at arbejde videre med projektideen, at udvælge en konkret lokalitet.

Som prøvefelt faldt valget på Sisimiut, primært af den grund, at man ønskede en tilknytning til bygge- og anlægsskolen ved en eventuel senere prøveproduktion.

Følgende materialer er umiddelbart tilgængelige i Sisimiut eller indtogtes allerede idag hertil:

1. Indtogtet sand:

- havsand fra Itilleq-fjorden syd for Sisimiut, materialet benævnt "betonsand"
- havsand fra Gl.Holsteinsborg ret på den anden side af Ulkebugten fra Sisimiut, materialet benævnt "fyldsand"

2. Lokalt gravede materialer:

- grus fra grav på land ret øst for Sisimiut, materialet benævnt "stabilt grus"
- overjord fra Sisimiut, materialet benævnt "silt"

3. Materialer produceret på lokalt knuseanlæg, hvorefter alene følgende havde interesse:

- en finkornet sandsortering, materialet benævnt "stenmel"
- en finkornet stensortering, materialet benævnt "asfalt-skærver"

Herudover blev der i laboratoriet anvendt et dansk materiale - benævnt "dansk søsand" - for at substituere de dyre grønlandske forsøgsmaterialer.

En nærmere undersøgelse i området viste, at de ovenfor nævnte lokale materialetyper i al væsentlig grad dækker alle idag

kendte lokale forekomster, der skønnes af interesse for projektet.

I det følgende er der regnet med følgende priser for de omtalte lokale materialer:

Betonsand	200 kr/m ³
Fyldsand	150 kr/m ³
Stabilt grus	40 kr/m ³
Silt	40 kr/m ³
Knuste materialer	350 kr/m ³

Alle priser er excl. kørsel.

Analyse af lokale materialeforekomster

Prøver af de nævnte lokale materialer blev hjemtaget og analyseret i laboratoriet. Siltprøver blev hjemtaget fra 2 forskellige lokaliteter, benævnt "Silt I" og "Silt II".

Kornkurverne (DS 405.9 og DS 405.8) blev bestemt på basis af sigteanalyser samt for korn < 0,075mm ved hydrometeranalyse for Silt I. Resultaterne er vist i fig. 5.

Vandindholdsbestemmelserne (DS 405.11) gav følgende resultater:

Sand: 2,8 - 3,5%

Silt: 17 - 20%

Humusindholdsbestemmelserne: (DS 405.3)

Sand: Stort set ingen

Silt: Minimalt

Ler- og silt indhold (DS 405.9 og DS 405.8)

Sand: 1 - 2%

Silt: 30 - 40%

Densitet og absorption: (DS 405.2)

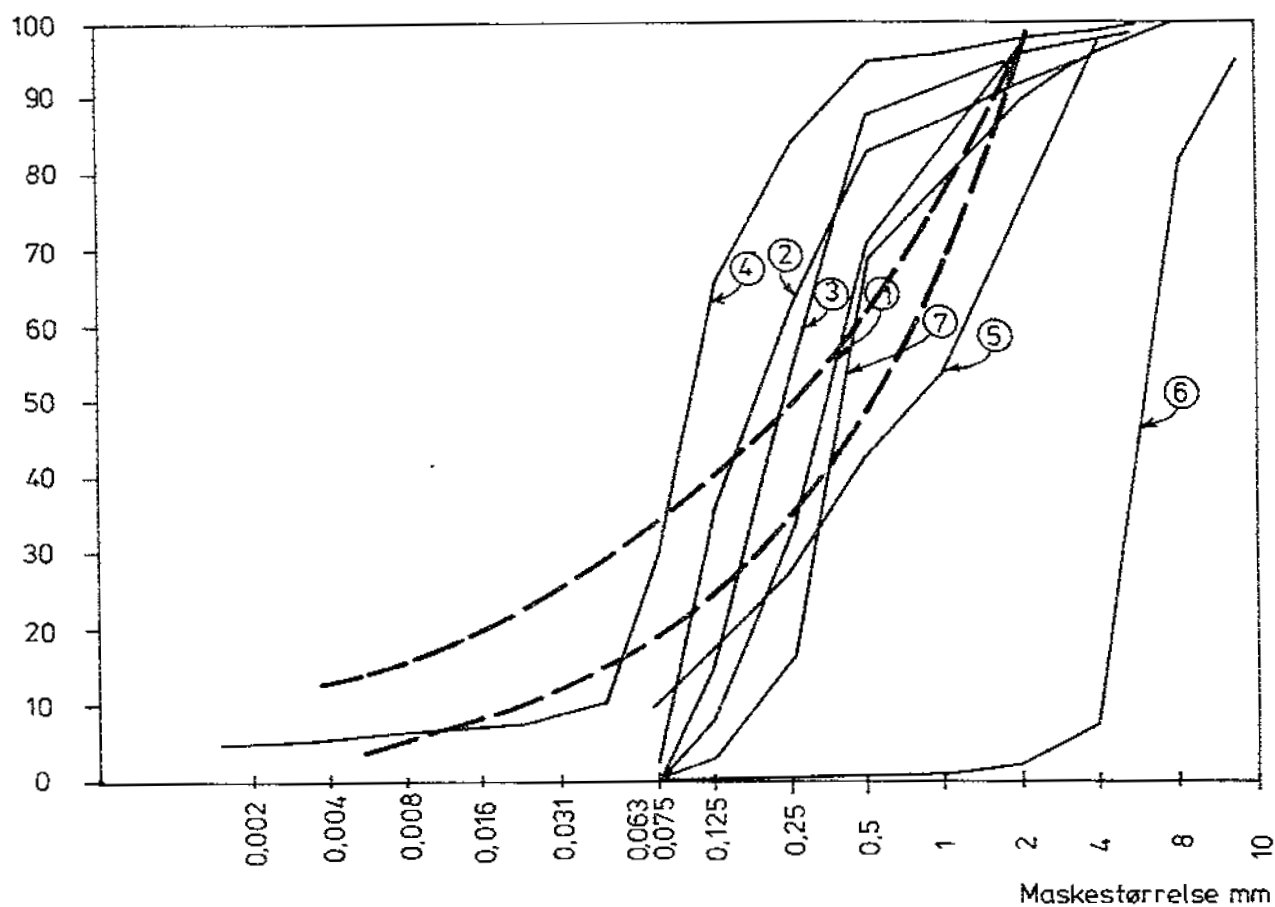
Sand: ρ_{ssd} : 2786 kg/m³
 W_a : 0,6%

Dansk søsand: ρ_{ssd} : 2653 kg/m³
 W_a : 0,6%

Kalkindholdet (visuel bedømmelse)

Sandet er stort set kalkfrit, hvorimod der indeholdes mindre mængder skaller i siltet.

% gennemfald



Kurve 1: Betonsand

- 2: Stabilt grus
- 3: Fyldsand
- 4: Silt I
- 5: Stenmel
- 6: Asfaltskurver
- 7: Dansk søsand

Fullerkurverne for $D=2\text{ mm}$ indtegnet
punkteret (se senere)

Fig. 5: Kornkurver

Overvejelser ang. optimal sammensætning af tilslag

Problemerne med at foretage en optimal proportionering af en byggeblok som den omtalte skyldes primært mangel på en teori på området. Teorien på betonområdet er veludbygget, men er ikke direkte anvendelig, idet byggeblokken indeholder alt for få større stenfraktioner i forhold til en normal betonblanding, og fordi en betonproportionering altid udføres på basis af tilslag sammensat af veldefinerede, separerede grusfraktioner.

Blokken kommer nok nærmest, hvad normalt benævnes stabiliseret jord, der i vid udstrækning anvendes specielt i udlandet i forbindelse med vejbygning, men også til husbygningsformål. Normalt er der tale om en stabilisering af de på stedet værende jordarter med et bindemiddel som kalk, bitumen, cement eller lignende.

Til stabilisering af byggeblokke i Grønland vælges cement, idet der ikke findes lokale stabiliseringsmaterialer, og fordi cementen allerede importeres til andre formål.

For cementstabiliseret jord findes en række amerikanske normer og standards, der dog primært sigter på vejbygningsområdet.

I mangel af en bedre teori, er de efterfølgende teoretiske overvejelser, derfor baseret herpå.

Fra det amerikanske materiale vil der i nærværende arbejde blive anvendt: metoder til bestemmelse af cementindhold, til bestemmelse af tilslagsgradering, optimalt vandindhold og komprimeringsgrad samt standardiserede prøver for styrke, frostbestandighed og svind.

Den teoretisk bedst mulige densitet af blokken skulle opnås, når kornkurven følger den såkaldte "Fullerkurve". Denne angives ved et bälte, der bestemmes efter følgende ligning:

$$P = 100 \times \left(\frac{d}{D}\right)^n$$

P er vægtprocent korn mindre end d

D er maksimal kornstørrelsen

n er en eksponent, der antager værdierne 1/3 og 1/2.

Hvis vi ser bort fra de knuste materialer, vil de fleste naturlige jordarter fra Sisimiut have en maksimal kornstørrelse på 2 mm. Den tilsvarende Fuller-kurve er indtegnet på kornkurverne fig. 5.

Ved at betragte figuren ses det, at ingen af de naturligt forekommende materialer følger idealkurven. Både betonsand, fyldsand og stabilt grus er for enskornede og indeholder for mange store og for få små fraktioner. Silten er nok det naturlige materiale, der følger kurven bedst.

Af de knuste materialer er stensemelen ret god, medens asfalskærverne er altfor enskornede og store.

I det følgende vil interessen blive koncentreret om materialerne: betonsand (der er mere hensigtsmæssig end fyldsandet og det stabile grus) og silten. Begge materialer vil blive overvejet som eneste tilslagsmateriale, ligesom blandinger af materialerne vil blive undersøgt. Der ses af prismæssige grund ligeledes bort fra en anvendelse af stensemelen, idet de naturlige materialer skal iblandes store mængder af stenmel for at opnå en acceptabel kurve. Herudover vil en byggeblok baseret på dette materiale være meget atypisk for en grønlandsk byggeblok. Vi skal dog senere komme tilbage til dette spørgsmål.

Ved forsøg med en række blandingsforhold mellem betonsand og silt synes en blanding af 70% sand og 30% silt at give den kornfordeling, der bedst følger idealkurven, jvnf. fig. 6.

Af kornkurven kan ses, at yderligere tilsætning af finere materiale havde været ønskeligt. Samtidig konstateres, at blandingen stadig i høj grad er en ret enskornet sandart.

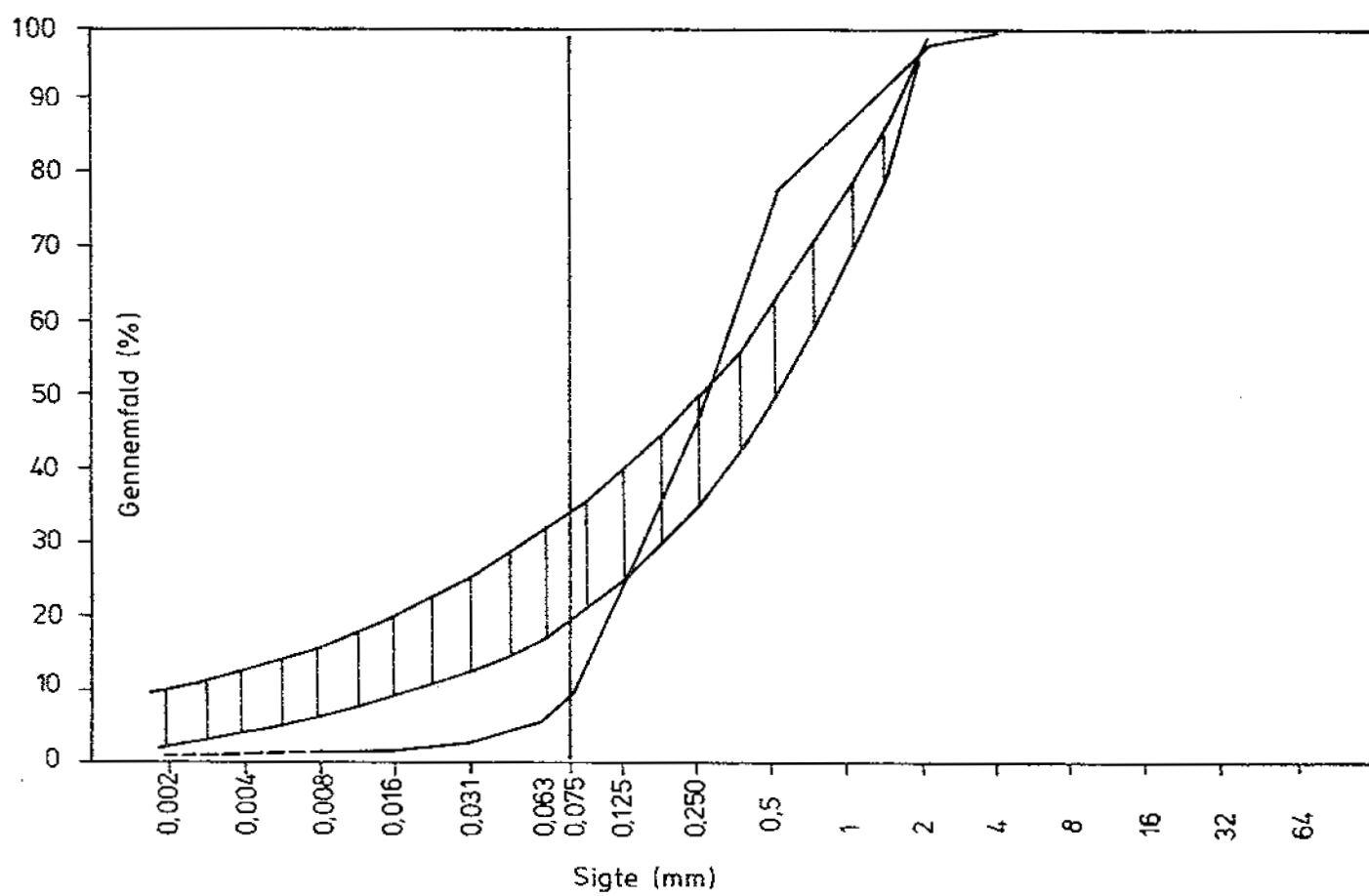


Fig. 6: Fullerkurve for $D = 2$ mm og 70% sand og 30% silt

TEORETISK PROPORTIONERING
AF SOIL-CEMENT BYGGELOK

I det følgende skal der foretages en teoretisk proportionering af byggeblokken efter amerikanske normer og standards for soil-cement, idet der tages udgangspunkt i den foreløbigt bestemte optimale sand/silt blanding på 70/30%, som tidligere fundet v.hj.a. Fuller-kurverne.

Undersøgelsen vil forløbe i flg. trin:

1. bestemmelse af cementindhold ved short-cut metoden (lit. 18).
2. bestemmelse af optimalt vandindhold og blandingsforhold v.hj.a. moisture - density analyser og under forudsætning af 100% proctor komprimering (lit. 1) samt teoretisk vurdering af blokkens fysiske egenskaber: styrke. (lit. 18), frostbestandighed (lit. 3) og våd/tør egenskaber (lit. 4).
3. gennemførelse af testprogram til eftervisning af de under pkt. 2 nævnte forhold. Der vil blive anvendt et vandindhold 2% mindre end det optimale, idet dette efter litteraturen (lit. 16) for et enskornet sandmateriale vil give størst densitet.

ad. 1

Metoden anvender de i fig. 7 viste diagrammer (lit. 18).

Af kornkurven fig. 6 aflæses for en sand/silt = 70/30% blanding:

52% materiale mellem No. 4 og No. 60-sigten
(4,75 mm og 0,25 mm)

5% materiale mindre end 0,05 mm

Derefter aflæses det skønnede tørdensitet på fig. 7:

$$y_d = 118 \text{ lb/ft}^3$$

og dermed et cementindhold ligeledes fra fig. 7:

mellem 7 og 8%

valg 7%.

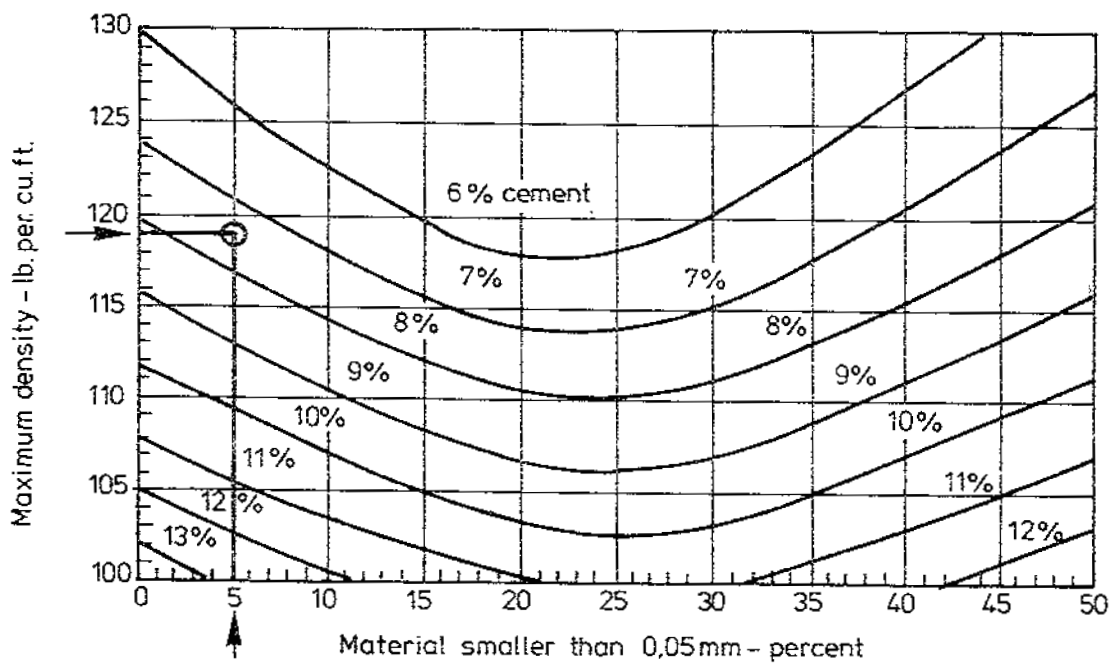
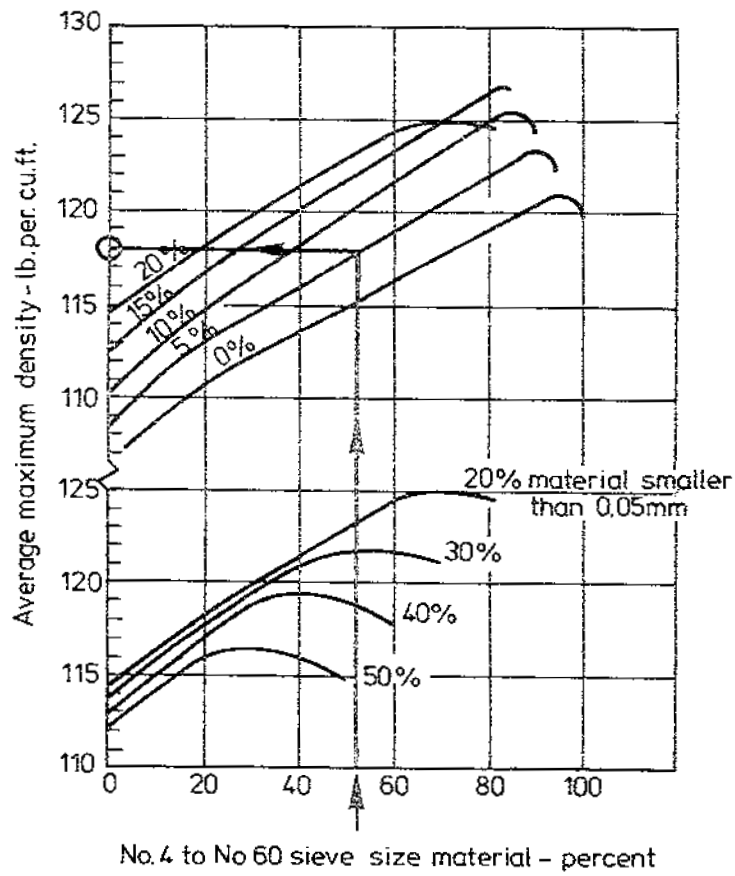


Fig. 7: Short-cut metoden

Med et proctor komprimeringsapparat bestemmes hermed 70/30% blandingens optimale vandindhold og den tilsvarende tørdensitet til:

$$Y_d = 124,7 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_{\text{opt}} = 9,2\%$$

Ny aflæsning på fig. 7 giver et cementindhold på 6-7%, hvorved et cementindhold på 7% synes godtgjort.

ad. 2

Under forudsætning af et indhold på 7% cement foretages herefter en proctorindstampning for forskellige blandinger, for at fastslå, om den foreløbig funden 70/30 blanding er optimal. Flg. sand/silt forhold underkastes moisture-density analyse: 100/00, 75/25, 70/30, 65/35, 50/50 og 00/100.

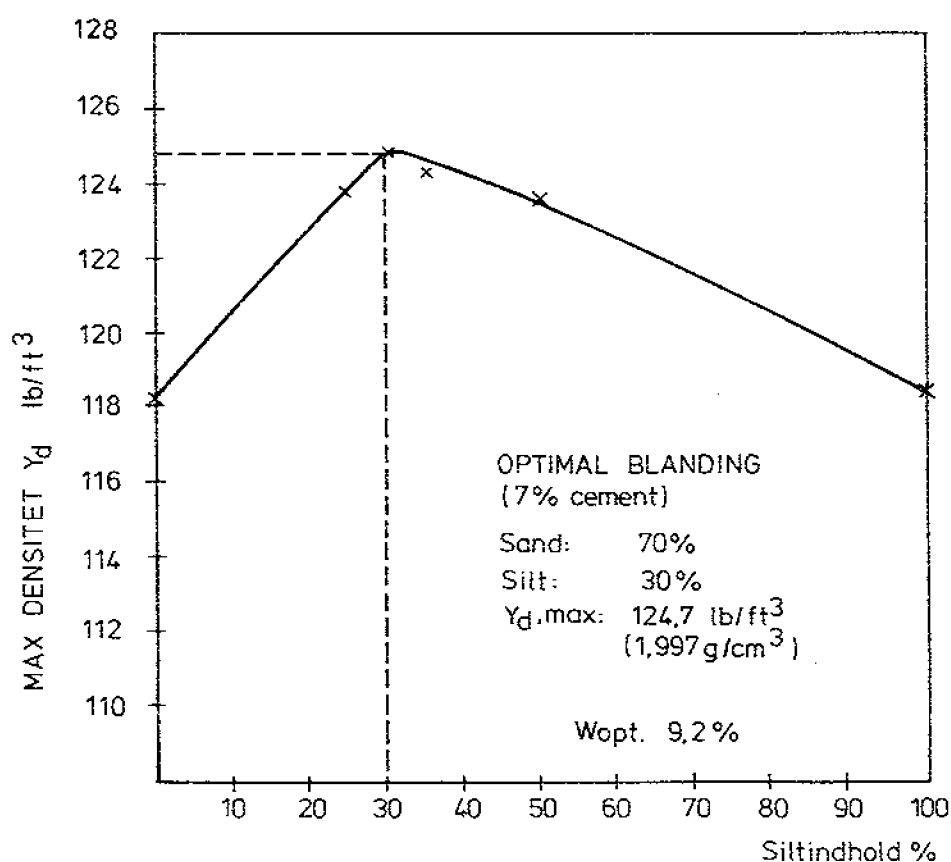


Fig 7: Proctoranalyse af forskellige blandingsforhold.

Analysen bekræfter, at den skønnede blanding vha. Fullerkurverne på 70/30% er optimal ved 7% cementindhold.

$$W_{\text{opt}} = 9,2\% \text{ og } Y_{d,\text{max}} = 124,7 \text{ lb/ft}^3 = 1,997 \text{ g/cm}^3.$$

Forudsætning : komprimering svarende til 100% proctor. Max. densitet skulle opnås ved et vandindhold på $9,2 - 2 = 7,2\%$.

Iflg. amerikanske standards (lit. 18) vil styrken og andre holdbarhedskriterier være opfyldt såfremt 7 døgns styrken af det stabiliserede materiale overstiger de i fig. 9 vist værdier.

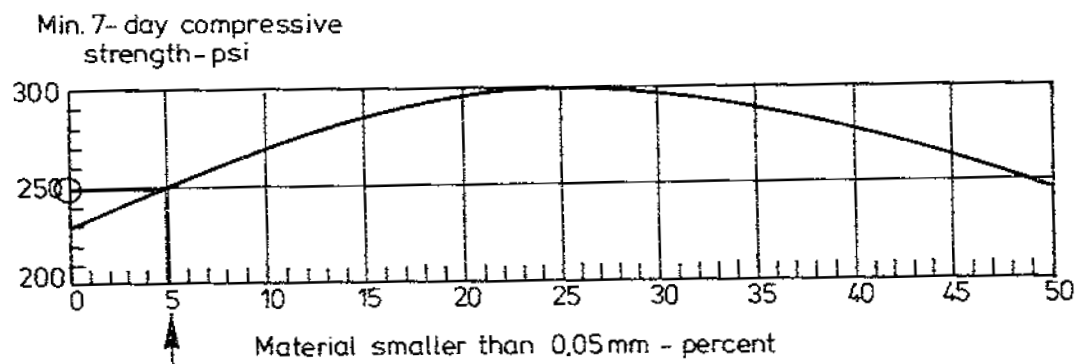


Fig.9: Minimalstyrker.

En række forskellige prøver blev herefter udstøbt og trykprøvet med de i fig. 10 viste resultater.

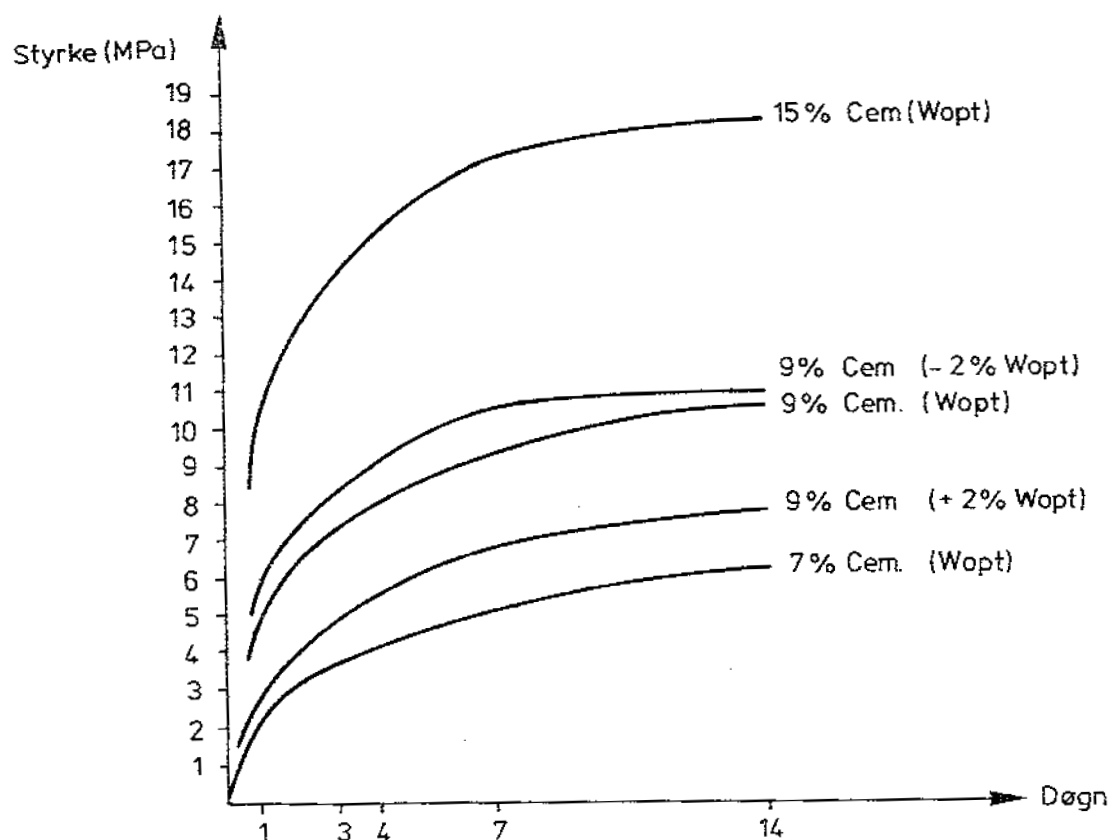


Fig. 10: Trykprøve 70/30 blanding.

Som det fremgår af figuren, blev styrken bestemt for en række cement- og vandindhold. Ved prøverne blev der anvendt Rapid-cement, hvorfor de iflg. amerikanske normer krævede styrker skal opnås ikke på 7, men ved 3-4 døgn.

En 70/30 blanding med 7% cement og optimalt vandindhold ses at opnå en styrke på ca. 4 MPa, hvilket er over det dobbelte af den krævede styrke (fig. 9) (250 psi = 1,7 MPa), hvorfor blandingen iflg. amerikanske standards skulle opfylde alle styrke- og holdbarhedsmæssige krav. Det ses desuden, at et vandindhold på 2% under det optimale giver forøget styrke.

For at efterprøve frostbestandighed og stabilitet overfor skiftende våde og tørre miljøer blev der dog gennemført en række standardiserede prøver. Ved frost/tø analyserne (lit. 3) blev prøvelegemerne 12 gange udsat for nedfrysning til -40°C . og opvarmning i 100% rel. fugtighed til 21°C . Efter hver cyklus bortbørstes evt. frostafsprængt materiale. Vægttab følges gennem hele forsøget.

Nogle typiske resultater fra forsøgene fremgår af fig. 11.

Det ses, at vægttabet falder med stigende cementindhold (6,1% - 0,8%). Et fald i vandindhold betød mindre vægttab, hvorimod et højere vandindhold end det optimale gav en mærkbar stigning. I alle prøver er vægttabet dog under de 10%, som foreskrives efter amerikanske normer (lit. 18).

Prøvelegemerne blev også efter lit. 4 udsat for skiftende våde og tørre miljøer. Prøverne udsættes for 12 skift fra vandmættet til ovntørret tilstand, og vægttabet følges gennem forsøget. Vægttabet var henholdsvis 6,1%, 2,0% og 1,3% ved at cementindhold på 5%, 7% og 9%. Lit. 18 angiver en øvre grænse på 10% for holdbarhed, hvorfor også dette holdbarhedskrav er opfyldt.

Der blev ikke udført svindforsøg efter lit. 2 (se senere herom).

PRØ- VERNE	MÆRKE	TEOR. CEMENT INDH.	VIRK. CEMENT INDH.	OPT. VAND- INDH.	VIRK. VAND- INDH.	TEOR. MAX. DENS.	VIRK. MAX. DENS.	MAX. VOL.- ÆNDR.	MAX. VAND- INDH.	TAB
		%	%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%
No 1	1 ₅	5	5	9,1	9,0	1,975	1,977	0,6	9,0	
No 2	2 ₅	5	5	9,1	8,8	1,975	1,970			6,1
No 1	5 ₇	7	7	8,6	8,5	1,990	1,993	0,6	8,4	
No 2	6 ₇	7	7	8,6	8,4	1,990	1,996			2,2
No 1	9 ₇	7	7	6,6 (÷ 2%)	6,4	1,962	1,982	0,3	6,6	
No 2	10 ₇	7	7	6,6 (÷ 2%)	6,4	1,962	1,982			1,7
No 1	11 ₇	7	7	10,6 (+ 2%)	10,3	1,962	1,955	0,7	9,9	
No 2	12 ₇	7	7	10,6 (+ 2%)	10,1	1,962	1,956			4,2
No 1	13 ₉	9	9	7,8	7,6	2,017	2,026	0,6	7,9	
No 2	14 ₉	9	9	7,8	7,7	2,017	2,025			1,6
No 1	17 ₁₁	11	11	7,8	7,9	2,019	2,035	0,3	9,5	
No 2	18 ₁₁	11	11	7,8	7,8	2,019	2,012			0,8

Fig. 11 : Frost/tø prøver for 70/30%
soil-cement byggeblokke

Af det foregående fremgår det således, at en blanding af 70% betonsand og 30% silt, med et optimalt vandindhold på ca. 9% og et cementindhold svarende til 7% samt en komprimering svarende til 100% proctor, skulle opfylde alle krav ifølge amerikanske normer.

Da disse normer er udformet for amerikanske forhold og specielt møntet på vejsektoren, bliver det springende punkt naturligvis, om man også hermed kan slutte noget angående materialets egnethed til husbygning i Grønland.

Styrkeparameteren kan vurderes direkte. En trykstyrke med 7% cementindhold på ca. 6 MPa efter 14 døgn, må for alle normale husbygningsformål nok anses for tilstrækkelig. Hvis en dimensionering af et konkret bygværk skulle vise en højere nødvendig styrke, vil en forøgelse af cementmængden f.eks. til 9% give en styrke på ca. 10 MPa.

Vurderingen af holdbarhed er derimod betydelig vanskeligere.

Det spektrum af påvirkninger, prøverne udsættes for, ved frost/tø forsøg, synes dog realistisk i forhold til et grønlandsk miljø. Givet disse påvirkninger skulle man herefter umiddelbart mene, at en vejbelægning var mere kritisk mht. frost og svind end f.eks. en ydermur, der synes betydelig mere beskyttet. Det kan dog alene blive en vurdering, og kun praktiske forsøg i Grønland kan endeligt afgøre, om frostbestandighed og volumenstabilitet er tilstrækkelig. I de efterfølgende analyser udgår våd/tør prøvningerne, idet de ikke findes særlig relevante for Grønland, hvorimod svindprøver vil blive medtaget.

Af det foregående fremgår det således, at en blanding af 70% betonsand og 30% silt, med et optimalt vandindhold på ca. 9% og et cementindhold svarende til 7% samt en komprimering svarende til 100% proctor, skulle opfylde alle krav ifølge amerikanske normer.

Da disse normer er udformet for amerikanske forhold og specielt møntet på vejsektoren, bliver det springende punkt naturligtvis, om man også hermed kan slutte noget angående materialets egnethed til husbygning i Grønland.

Styrkeparameteren kan vurderes direkte. En trykstyrke med 7% cementindhold på ca. 6 MPa efter 14 døgn, må for alle normale husbygningsformål nok anses for tilstrækkelig. Hvis en dimensionering af et konkret bygværk skulle vise en højere nødvendig styrke, vil en forøgelse af cementmængden f.eks. til 9% give en styrke på ca. 10 MPa.

Vurderingen af holdbarhed er derimod betydelig vanskeligere.

Det spektrum af påvirkninger, prøverne udsættes for, ved frost/tø forsøg, synes dog realistisk i forhold til et grønlandsk miljø. Givet disse påvirkninger skulle man herefter umiddelbart mene, at en vejbelægning var mere kritisk mht. frost og svind end f.eks. en ydermur, der synes betydelig mere beskyttet. Det kan dog alene blive en vurdering, og kun praktiske forsøg i Grønland kan endeligt afgøre, om frostbestandighed og volumenstabilitet er tilstrækkelig. I de efterfølgende analyser udgår våd/tør prøvningerne, idet de ikke findes særlig relevante for Grønland, hvorimod svindprøver vil blive medtaget.

MASKINTYPER OG VALG HERAF

I forrige afsnit har vi dimensioneret en byggeblok under forudsætning af, at blokken komprimeres til 100% proctor. Spørgsmålet bliver herefter, at undersøge maskinmarkedet og at se, om en egnet maskine kan opfylde disse krav.

Blokstensmaskiner, der er karakteriseret ved prisbillighed, robusthed og så simpel i brug, at de er egnede for næsten hel utrænnet arbejdskraft, er næsten ukendte på det europæiske og amerikanske marked. Sådanne maskiner produceres dog her, men er næsten udelukkende beregnet for det sydamerikanske og afrikanske marked.

Der findes maskiner beregnet såvel for soil-cement sten og for betonsten som for sten med iblanding af f.eks. affaldsprodukter som halm eller lignende.

Der findes maskintyper fra helt simple håndmaskiner over de halvautomatiske til de i Europa og USA kendte fuldautomatiske anlæg.

Der findes maskintyper - simple eller halvautomatiske - beregnet såvel til produktion på selve arbejdspladsen som maskintyper beregnet for en mere stationær produktion.

Maskintyperne komprimerer enten ved presning eller ved vibration, og kun de mest automatiserede anlæg anvender en kombination heraf.

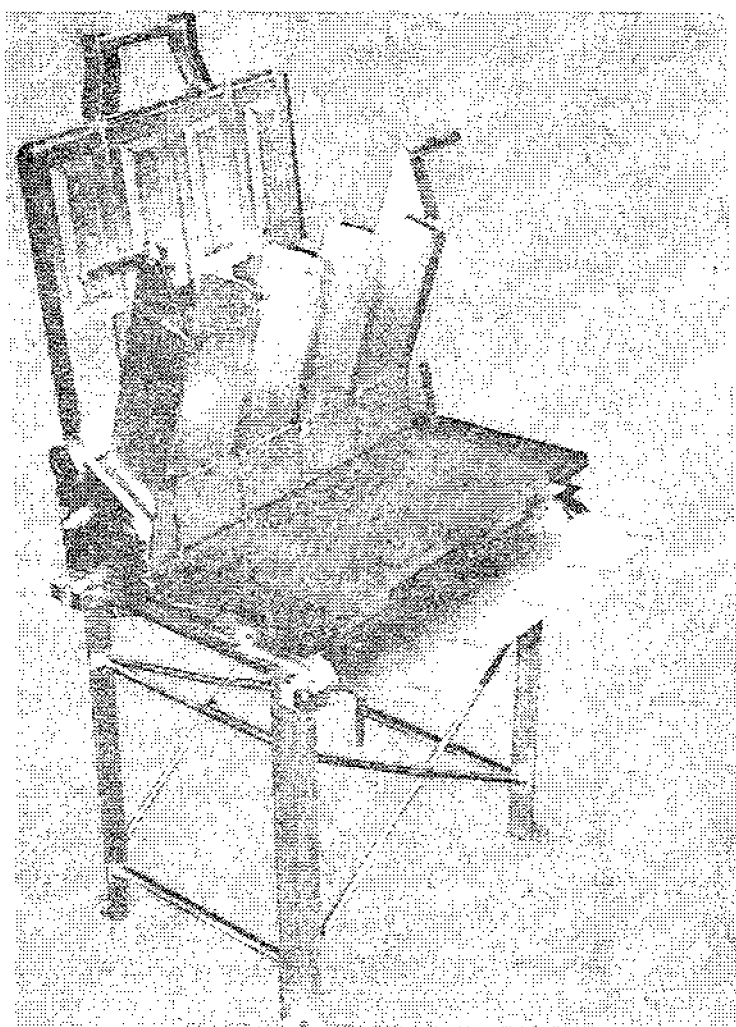
Af ovenstående vil det fremgå, at maskinmarkedet er meget spredt og yderst vanskeligt at få et blot nogenlunde overblik over. I praksis har det således også vist sig, at netop maskinproblemer har været den kritiske faktor ved gennemførelse af en række projekter i praksis, hvorfor også en række nationale og internationale hjælpeorganisationer har søgt at påvirke udviklingen på markedet.

Nedenfor skal en række maskintyper gennemgås. Der vil blive vist maskiner fra helt simple til halvautomatiske anlæg. Til slut skal der argumenteres for valget af maskintype til dette projekt.

Helt simple maskiner til fremstilling af murstens- eller blok-formater er i realiteten kun en form, hvori udstøbningen sker uden egentlig komprimering.

Fig. 12 viser en sådan simpel formkasse. 4 ufaglærte arbejdere skulle på denne kasse kunne producere ca. 3000 sten per dag. Prisen er ca. R 300 (ca. kr. 2700) FOB sydafrikansk havn.

Fig. 12
Simpel murstens-
form.



Den nok mest kendte lavteknologiske blok- eller stenmaskine er CINVA-Ram pressen, der er udviklet i Colombia. Maskinen er en simpel håndpresse, der anvendes som vist nedenfor. Maskinen koster ca. \$ 250 (ca. kr. 2400) FOB colombiansk havn.

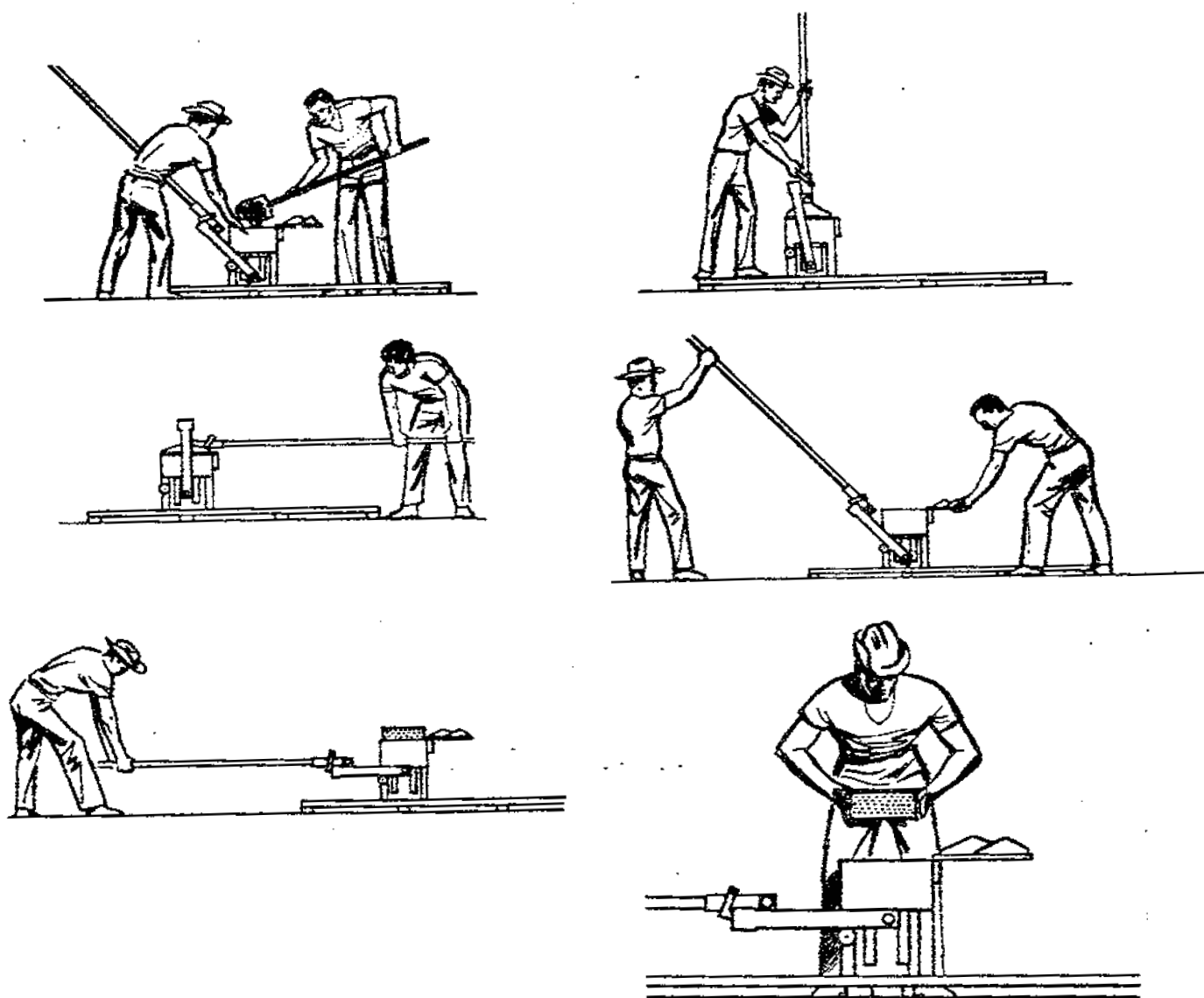


Fig. 13.: CINVA-Ram presse.

Herefter findes en række halvautomatiske anlæg.

I alle de fundne maskintyper foregår komprimeringen i al væsentlig grad ved vibrering alene.

Den i fig. 14 viste type er egnet såvel til støbning af sten på paller på arbejdspladsen, men kan også ved en mere statio-

nær produktion f.eks. afsætte blokkene på et betongulv, hvorpå maskinen kører. Som det ses på billedet, udstøbes der 3 stk. blokke per gang.



Fig. 14 Semiautomatisk blokstensmaskine (engelsk)

Den viste mobile maskine koster incl. 2 formsæt - et til hulblokke og et til massive blokke - ca. £ 3100 (ca. kr. 45.000) FOB engelsk havn..

En tilsvarende mobil blokstensmaskine er vist i fig. 15. Maskinen udstøber 2 blokke per gang på paller. Komprimeringen foregår ved vibrering af pallen. Prisen er incl. 2 formsæt ca. DM 27.300 (ca. kr 134.000) lev. København.

En stationær type er vist i fig. 16. Den udstøber én blok per gang. Komprimering ved vibrering af palle. Afformning foregår hydraulisk. Pris incl. 2 formsæt ca. DM 26.000 (ca. kr. 93.000) lev. København.

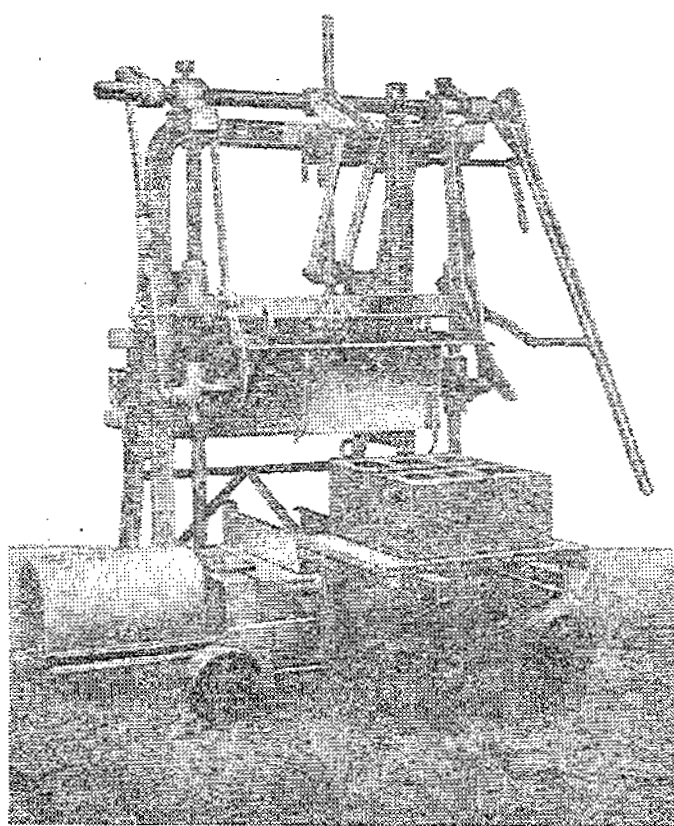


Fig. 15 Mobil, semiautomatisk
blokstensmaskine (tysk)

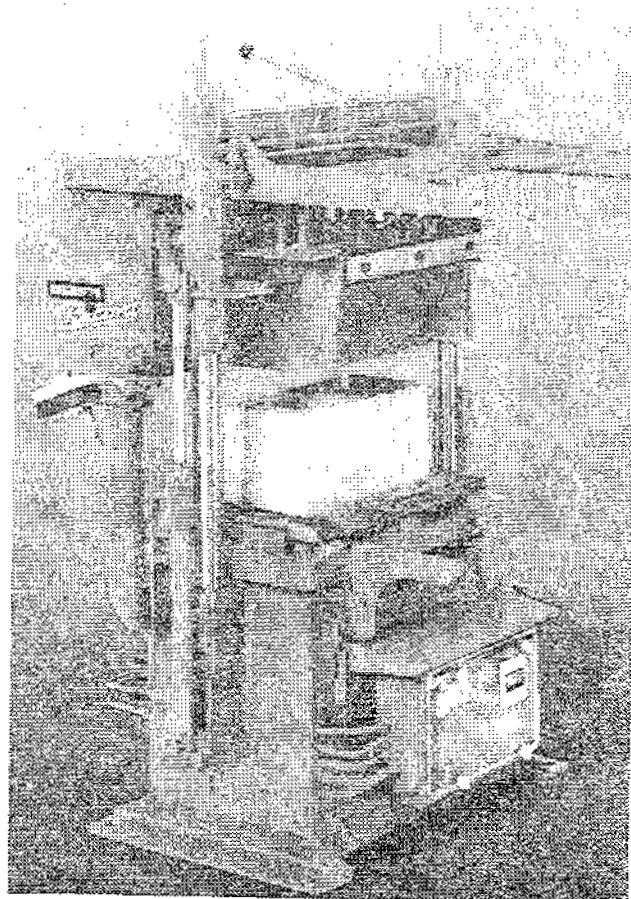
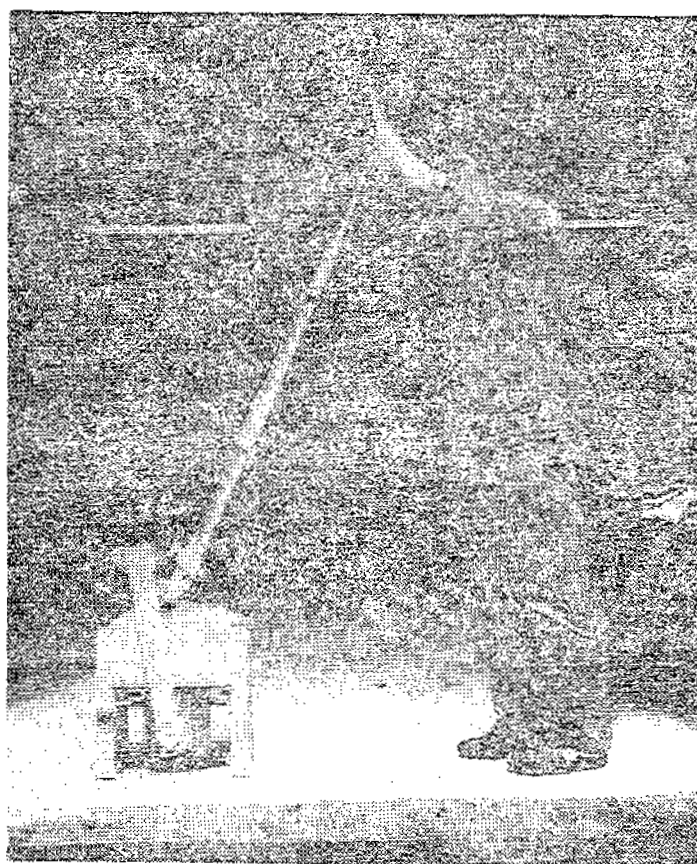


Fig. 16 Stationær,
semiautomatisk blok-
stensmaskine (tysk)

I det forrige er omtalt det spektrum af maskintyper, der blev overvejet i forbindelse med projektet. Såfremt man ønsker en maskine, der komprimerer blokke ved en kombination af pres og vibrering, ses det, at såvel pris som teknologisk niveau næppe er realistisk i forhold til projektets målsætning, hvorfor sådanne automatiske maskintyper ikke blev nærmere undersøgt.

Det var vanskeligt at foretage et valg af maskintyper til projektet. Dels tillod økonomien kun begrænsede investeringer, så der kunne ikke være tale om indkøb og flere typer, og dels var det ikke muligt i nærliggende miljøer at foretage afprøvninger med aktuelle materialer eller at indsamle erfaringer. Cinva-Ram pressen fandtes dog allerede på DTH fra et tilsvarende tidligere projekt dog møntet på Indonesien. Pressen blev afprøvet til opgaven (fig. 17).

Fig. 17
Afprøvning af
CINVA-Ram
pressen.



Pressen viste sig yderst arbejdskrævende. Det viste sig at være meget fysisk anstrengende at opnå den fornødne komprimering med vægtstangen. Maskinen kan kun anses rentabel i udvalgte lavlønsområder, hvilket Grønland klart ikke kan henregnes til. Selv ikke i Indonesien viste maskinen sig rentabel. Pressen blev således også forkastet til Grønlandsprojektet.

Af de resterende typer blev den engelske, semiautomatiske, transportable maskine (fig. 14) anset for bedst egnet og indkøbt. Erfaringerne mht. brugen og i hvilket omfang denne kunne opfylde de stillede komprimeringskrav, vil blive omtalt i næste afsnit. Maskinen opstillet i forsøgshallen ses i fig. 18.

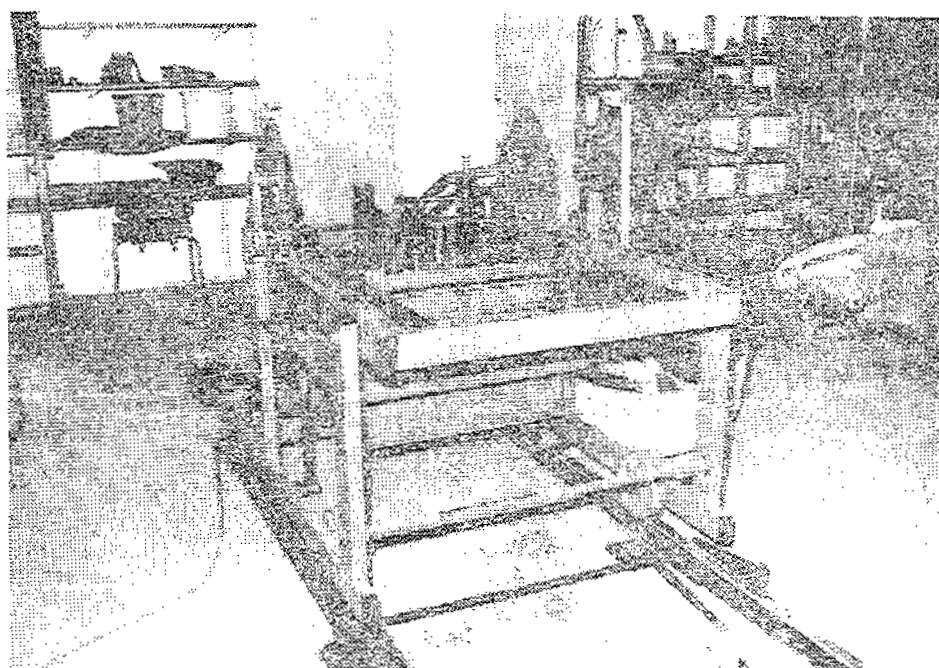


Fig. 18 : Den valgte og indkøbte maskintype.

PROPORTIONERING AF BYGGEBLOK
MED GIVEN MASKINTYPE

Generelt

Vi har i et tidligere afsnit ved hjælp af proctorforsøg fastlagt en optimal materialesammensætning af byggeblokke. Denne bestod af 70% betonsand, 30% silt og var tilsat 7 vægtprocent rapidcement. Laboratorieforsøg viste desuden, at prøverne havde den fornødne styrke til alm. husbygningsformål og opfyldte de kendte tests for holdbarhed.

Denne dimensionering forudsætter naturligvis, at vi anskaffer en maskine, der er egnet for udstøbningen, samt at denne kan give en komprimering mindst svarende til 100% proctor.

I forrige afsnit blev derfor maskinmarkedet afsøgt, og en maskintype udvalgt.

Arbejdet med maskinen forløber, som vist på billedserien fig. 19. Blandingen foretages på en mindre tvangsblander med løse blandekar. Der udstøbes 3 blokke på en palle pr. gang (fig. 19,a). Formen fyldes op med en vis overhøjde, og en kort (ca. 10 sec.) forvibrering foretages (fig. 19, b). Overfladen afrettes i højde med formoverkant (fig. 19,c), den ca. 75 kg tunge overpart nedsænkes, og hovedvibreringen udføres, indtil blokken har opnået den foreskrevne højde (ca. 30 sec.). Herefter løftes overparten af (fig. 19,d). En kort vibrering under løftet kan lette afformningen, og 3 byggeblokke er støbt (fig. 19,e). Pallen fjernes med det særlige løfteåg, der er vist på fig. 19,a.

En støbecyklus varer ca. 2 min., hvilket giver en produktion på $60/2 \times 3 \times 8 = 720$ blokke pr. arbejdsdag. Der kræves 3-4 mand til arbejdets udførelse.

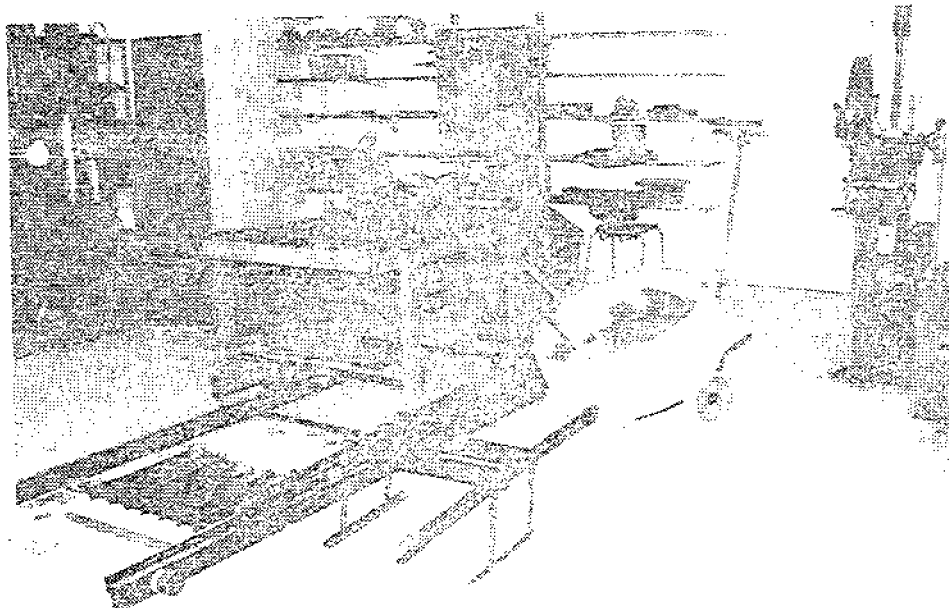


fig. 19, a

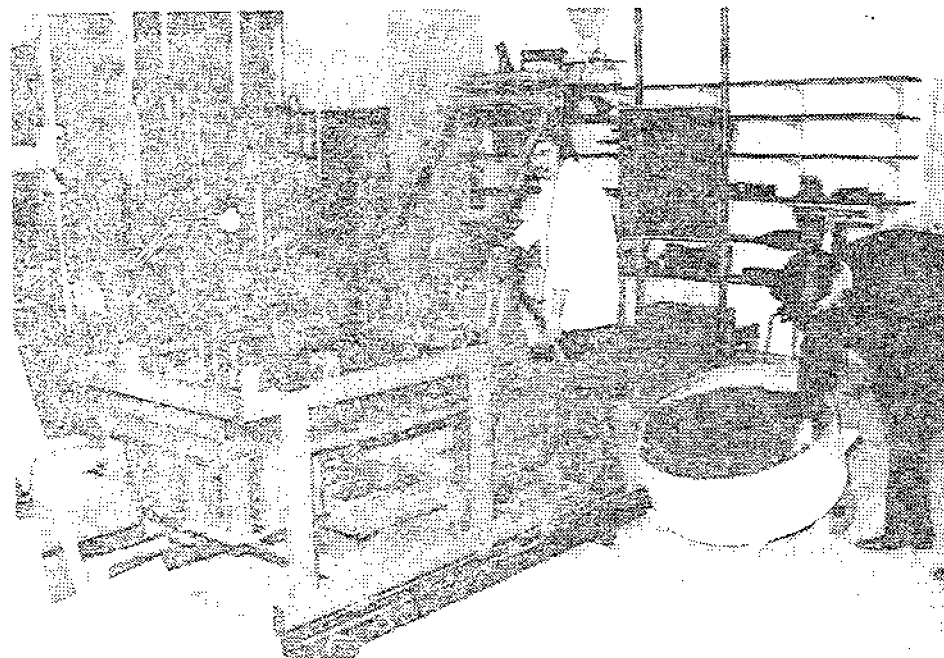


fig. 19, b

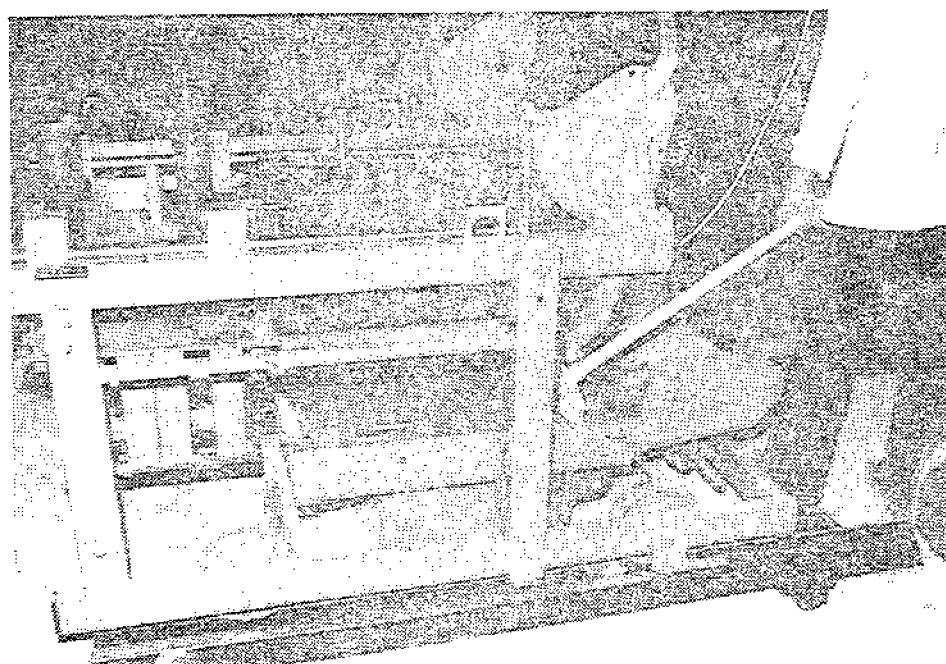


fig. 19, c

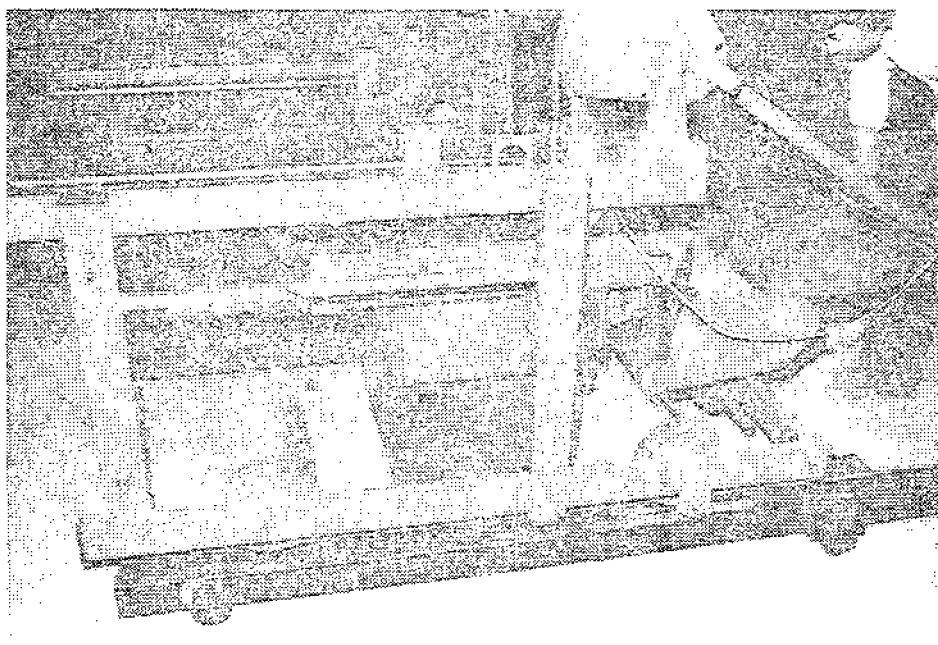


fig. 19, d

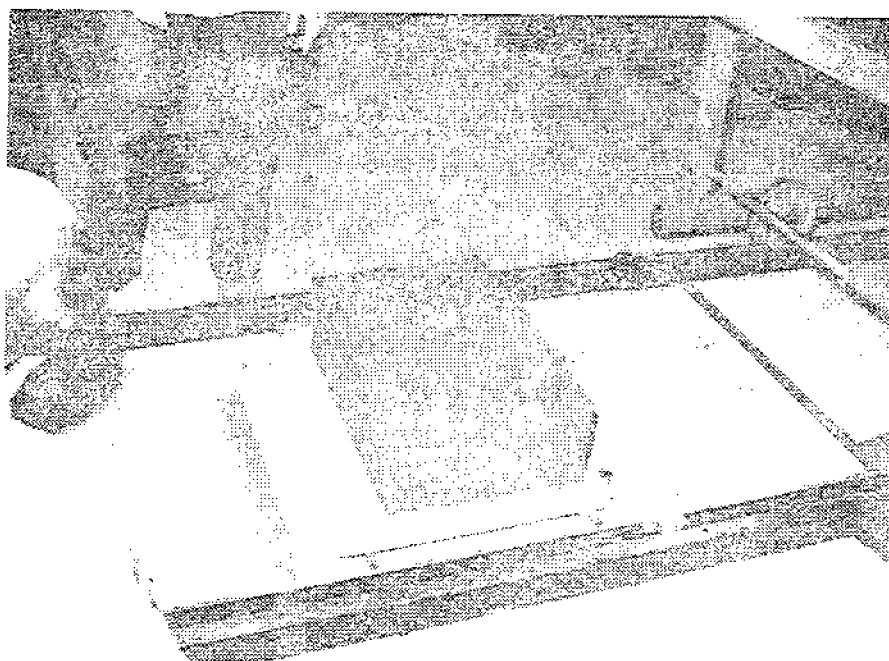


fig. 19, e

Støbeforsøg med den proctor-bestemte blanding

Med udgangspunkt i den proctor-bestemte blanding startes her-
 efter en forsøgsserie med det formål: (1) at se om 70/30 blan-
 dingen med 7% cementindhold stadig giver maksimal densitet,
 (2) om der ved det optimale vandindhold minus 2% opnås en den-
 sitet og dermed styrke og holdbarhed som i proctorforsøgene,
 samt (3) om udstøbningen indebærer særlige problemer, herunder
 om blokken har den fornødne grønne styrke.

Til de første 2 punkter blev der i støbeformen indlagt tre små
 PVC-rør med veldefinerede mål og vægt.

Formene fyldes med top, således, at der efter første vibrering
 på ca. 10 sek. ikke skal efterfyldes. Den opragende jord fjer-
 nes med retskeden. Overstemplet udløses, og der eftervibreres
 indtil de fire møtrikker (fig. 19) ikke kan komme længere ned
 (ca. 30 sek.).

Der afformes nu, og de tre små rør graves forsigtigt frem. Den
 opragende jord fjernes med retskede. Form plus prøve vejes og
 hele materialet benyttes til vandindholdsbestemmelse.

Efter denne procedure udføres analysen for flg. sand/silt blan-
 dinger med 7% cementindhold: 100/00, 75/25, 70/30 og 65/35.
 Resultaterne findes på fig. 20.

Det ses, at den optimale blanding opnås ved 73% sand og 27%
 silt. W_{opt} er 10,5% og den opnåede max. densitet 118,7 lb/ft³.

En sammenligning mellem proctorforsøg og prøver på maskinen,
 giver det i fig. 21 viste forløb. Det ses heraf, at 70/30 blan-
 dingen også på maskinen synes nær det optimale, men det ses
 også, at den opnåede densitet er mindre end ved proctorfor-
 søgene, dvs. at komprimeringsenergien er mindre end svarende
 til 100% proctor, hvilket igen vil give ringere styrke og
 holdbarhed end vist ved proctorforsøgene.

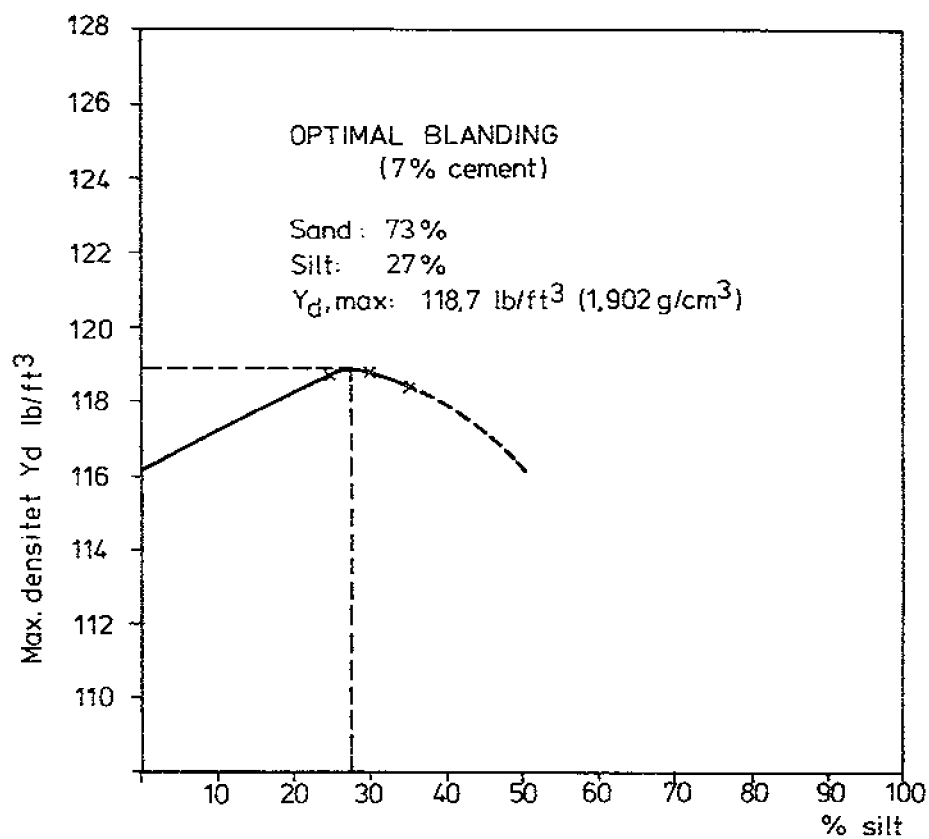


Fig. 20: Densitet med varierende siltprocent.

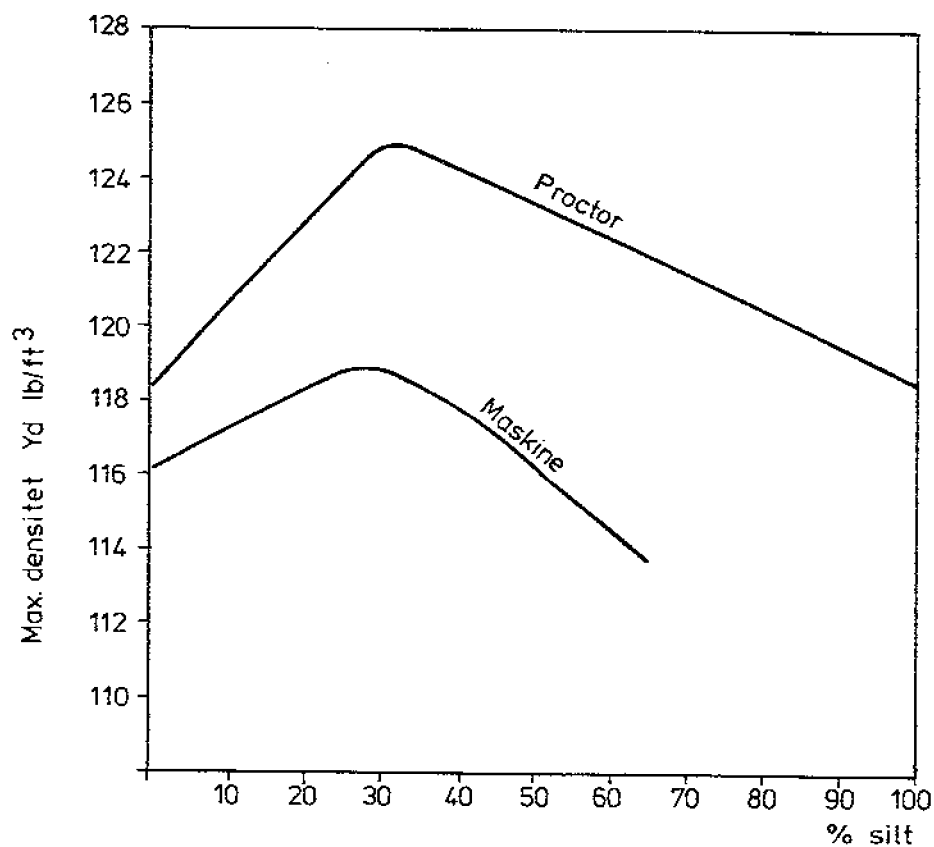


Fig. 21: Sammenligning mellem proctor og anvendt maskine.

Komprimeringen er således kritisk, hvorfor en så lang vibreringsringstid som mulig er ønskelig. I den henseende viste sand/siltblandingerne sig noget uhensigtsmæssige, idet en lang vibreringsringstid vanskeliggjorde afformningen, hvilket ikke var tilfældet med blokke af rent sand, der uden problemer kunne vibreres meget grundigt. Dette bekræfter også, at en komprimering ved vibration er bedst egnet til sandede jordarter. For mere siltholdige jordarter ville en presning være at foretrække. Prøvestøbningerne viste desuden, at alle blandingerne gav en tilfredsstillende grøn styrke, så den nystøbte blok kunne håndteres uden problemer. På grund af et for højt optimalt vandindhold og klæbning på formen viste det sig desuden så godt som umuligt at udstøbe blokke med et meget højt siltindhold på maskinen.

Endelige forsøgsserier

Af ovenstående fremgår det, at den anvendte maskintype på grund af ringere komprimering betinger en større cementmængde end fundet under proctor forsøgene, samt at blokke støbt af betonsand alene udfra maskintekniske grunde er nemmest at udføre.

Som resultat heraf arbejdes der i den endelige forsøgsserie med et spektrum af cementindhold: 7%, 9%, 11% og 15% samt med blokke udstøbt i følgende sand/silt blandingsforhold: 73/27 og 100/00.

For disse prøvestøbninger blev der udført:

- (1) styrkeforsøg efter DS 438.1
- (2) frost/tø forsøg efter ASTM D 560-57
- (3) svindforsøg efter ASTM C 426
- (4) minutsugningsforsøg efter TTT proceduren (lit. 19)

I det følgende skal resultaterne heraf gennemgås.

Trykstyrkeudviklingen (iflg. DS 438.1) ses i fig. 22. Sammenlignet med fig. 10 ser vi som ventet, at der opnås styrker mindre end ved 100% proctor komprimering, samt at der ikke opnås nogen styrkemæssig fordel ved iblanding af silt, som nævnt tidligere nok pga. at denne blanding ikke kan vibreres så længe som den rene sandblok.

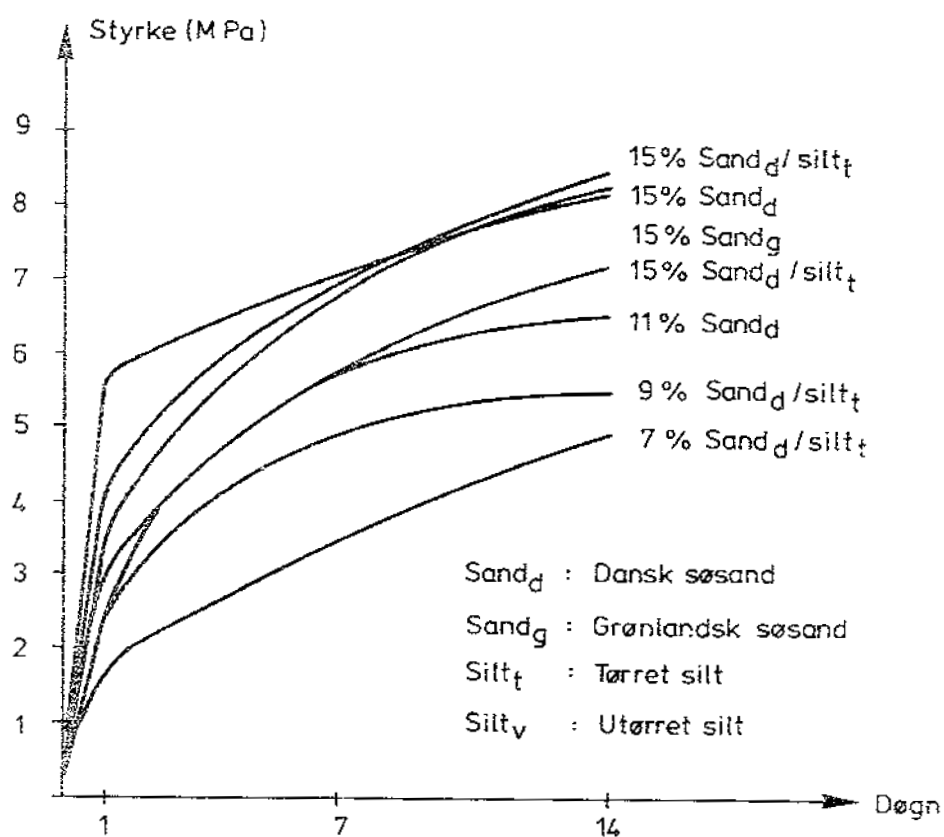
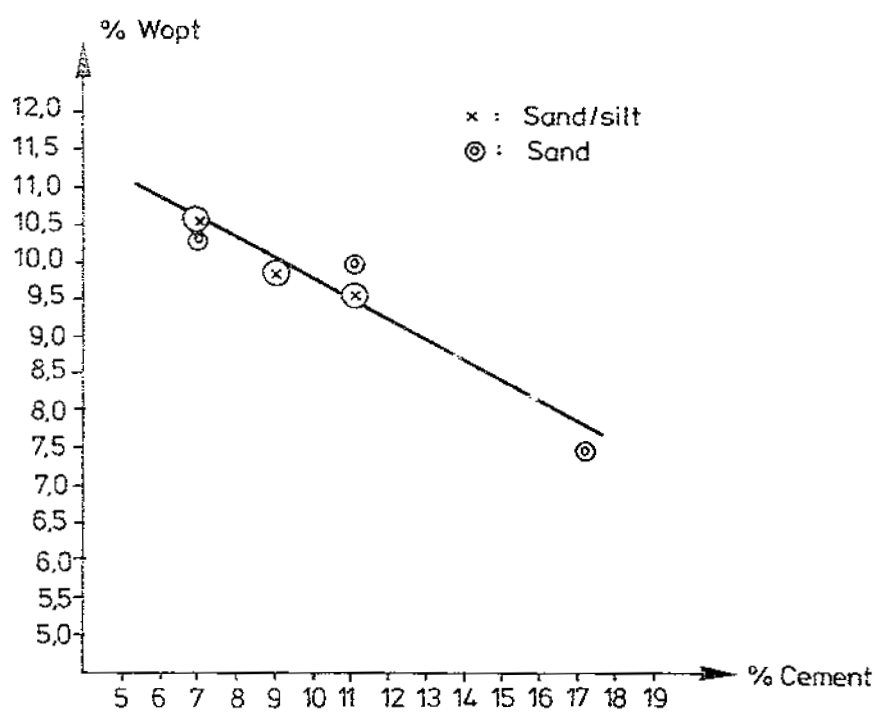


Fig. 22: Trykstyrkeudvikling for byggeblokke.

Fig. 23: Relation mellem W_{opt} og % cement.

På trods af den ringere styrke ses det dog, at en blok selv med 7% cementindhold stadig opnår en styrke og dermed holdbarhed efter amerikanske normer (jvnf. fig. 9).

I fig. 23 er relationen mellem cement-% og W_{opt} optegnet både for blokke af sand/silt og for sand alene. Relationen ses at være nogenlunde ens for begge bloktyper. Belært af tidligere erfaringer blev alle prøvelegemer udstøbt med et vandindhold på 2% under det optimale.

Frost/tø forsøg blev udført med udsavede prøvelegemer på 16 x 4 x 4 cm.

Resultaterne ses i fig. 24. Vægttabet varierer fra 2,1 til 0,6%, hvilket skulle være fuld tilfredsstillende. Amerikanske normer angiver 10% som øvre grænse (lit. 18).

Svindforsøg blev ligeledes udført efter amerikanske standard (ASTM C 426, lit. 2) på udsavede prøvelegemer. Resultaterne fremgår af fig. 25. Udtørringen stopper, når længdeændringen er under 0,002% på 6 dage og vægttabet mindre end 0,2% på 2 dage. Svindene ses at være meget små, faktisk kun ca. 0,3 - 0,7 mm/m. (Krav højst 0,65%, lit. 2). Dette stemmer overens med erfaringer om, at grovkornede materialer udviser meget lidt svind eller volumenændringer.

For at vurdere blokkens egenskaber til opmuring blev minutsugning bestemt (efter prøvemethode i lit. 19).

Blokkene tørres til konstant vægt i tørreskab ved 110°C og henstilles til afkøling i 4 timer. Dernæst anbringes en sten ad gangen i en bakke med vand, således at den ene liggeflade er 1 cm under vandspejlet. Efter et minut tages blokken op og aftrykkes med en opvredet klud, hvorefter den atter vejes. Fra optagning til vejning må der ikke gå over 30 sek. Minutsugning udregnes nu som g opsuget vand pr dm^2 .

Resultaterne er indført på fig. 26. Disse svinger fra 8 - 58 g/ dm^2 . Sand/silt-blandingen med 15% cm udviser den største sugsevne, mens de andre ligger omtrentlig på det halve.

Prøvemuring med stenen viser, at den opmuringsmæssigt er meget lig en gasbetonsten. Iøvrigt viste den sig udmærket til puds og filtsning.

Under prøvestøbningerne viste der sig nogle problemer ved at undgå smårevner i hjørnerne på hulblokkene. Dette skyldes et noget skævt løft af overformen ved afformning. Det kræver en meget nøje justering af formen for at minimere disse revner.

Støbning af specialblokke (f.eks. halve sten, eller sten med skrå affasninger) kan foregå på maskinen ved indlægning af foringer i formen. I praksis viser dette sig dog vanskeligt.

	PRØ- VERNE	MÆRKE	TEOR. CEMENT INDH.	VIRK. CEMENT INDH.	OPT. VAND- INDH.	VIRK. VAND- INDH.	TEOR. MAX. DENS.	VIRK. MAX. DENS.	MAX. VOL.- ÆNDR.	MAX. VAND- INDH.	SOIL- CEMENT TAB
			%	%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%
Sand _D / Silt _T 7% cement	No 1	1 ₁	7	7	10,5	8,5	1,743	1,836	-	9,3	
	No 2	1 ₂	7	7	10,5	8,5	1,743	-			2,1
Sand _D / Silt _V 15% cement	No 1	2 ₁	15	15	8,5	6,5	-	1,755	-	10,3	
	No 2	2 ₂	15	15	8,5	6,5	-	-			1,1
	No 2	2 ₃	15	15	8,5	6,5	-	-			1,2
Sand _D 15% cement	No 1	3 ₁	15	15	8,5	6,5	-	1,813	-	9,2	
	No 2	3 ₂	15	15	8,5	6,5	-	-			0,6
	No 2	3 ₃	15	15	8,5	6,5	-	-			1,0
Sand _D / Silt _T 9% cement	No 1	4 ₁	9	9	9,8	7,8	1,682	1,763	-	9,5	
	No 2	4 ₂	9	9	9,8	7,8	-	-			1,3
	No 2	4 ₃	9	9	9,8	7,8	-	-			1,0
Sand _D / Silt _T 15% cement	No 1	5 ₁	15	15	8,5	6,5	-	1,616	-	14,6	
	No 2	5 ₂	15	15	8,5	6,5	-	-			1,3
	No 2	5 ₃	15	15	8,5	6,5	-	-			1,3

Fig. 24: Frost/tø forsøg byggeblokke

		Start- længde (mm)	Slut- længde (mm)	Forskel (mm)	Svind %
		L ₁	L ₂	ΔL	S
Sand _D	1 ₁	2,318	2,243	0,075	0,05
Silt _T					
7% Cement	1 ₂	2,443	2,348	0,095	0,06
Sand _D	2 ₁	1,747	1,632	0,115	0,07
Silt _V					
15% Cement	2 ₂	2,546	2,426	0,120	0,08
Sand _D	3 ₁	1,781	1,687	0,094	0,06
15% Cement	3 ₂	3,317	3,237	0,080	0,05
Sand _D					
Silt _T	4,	3,211	3,168	0,043	0,03
9%C					
Sand _D					
Silt _T	5,	2,519	2,412	0,107	0,07
15%C					

Fig. 25: Svindforsøg byggeblokke

		SAND _D /SILT _T (7% Cem)			SAND _D /SILT _T (9% Cem)			SAND _D /SILT _T (15% Cem)			SAND _D /SILT _T (15% Cem)			SAND _D (15% Cem)	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
N E D E R S T E D E L	TØRVÆGT (g)	16870	16550	17250	17892	17815	17900	16085	16435	16035	16935	17260	17270	17460	16750
	VÅDVÆGT (g)	16960	16697	17300	17937	17850	17935	16350	16665	16385	17040	17395	17380	17560	16835
	VAND (g)	90	147	50	45	45	35	265	230	350	105	135	110	100	105
	MINUTSUGN. g/dm ²	19	30	10	9	9	7	55	47	72	24	28	23	21	22
	AREAL GEN. SNIT g/dm ²	20			8			58			25			22	
Ø V E R S T E D E L	TØRVÆGT (g)	16960	16697	17300	17937	17850	17935	16350	16665	16385	17040	17395	17380	17560	16835
	VÅDVÆGT (g)	17090	16900	17405	18015	17960	18005	16530	16860	16690	17232	17610	17595	17650	16900
	VAND (g)	130	203	105	78	110	70	180	195	305	192	215	215	90	65
	MINUTSUGN. g/dm ²	29	46	24	18	25	16	41	44	69	40	48	48	20	15
	AREAL GEN. SNIT g/dm ²	33			20			51			45			18	

Fig. 26: Minutsugning byggeblokke

Konklusion ang. blandingsforhold

Som det så ofte før er blevet rapporteret i forbindelse med lavteknologisk produktion af byggeblokke, viste det sig også her, at materiellet var den begrænsende faktor. Billige, simple maskintyper med den tilstrækkelige komprimeringsenergi findes ganske simpelt ikke på markedet. Dette er illustreret i fig. 27. Hertil kommer, at de kendte lokale materialer i Sisimiut ikke er særlig optimale, idet de er for enskornede, og indeholder for få fine partikler.

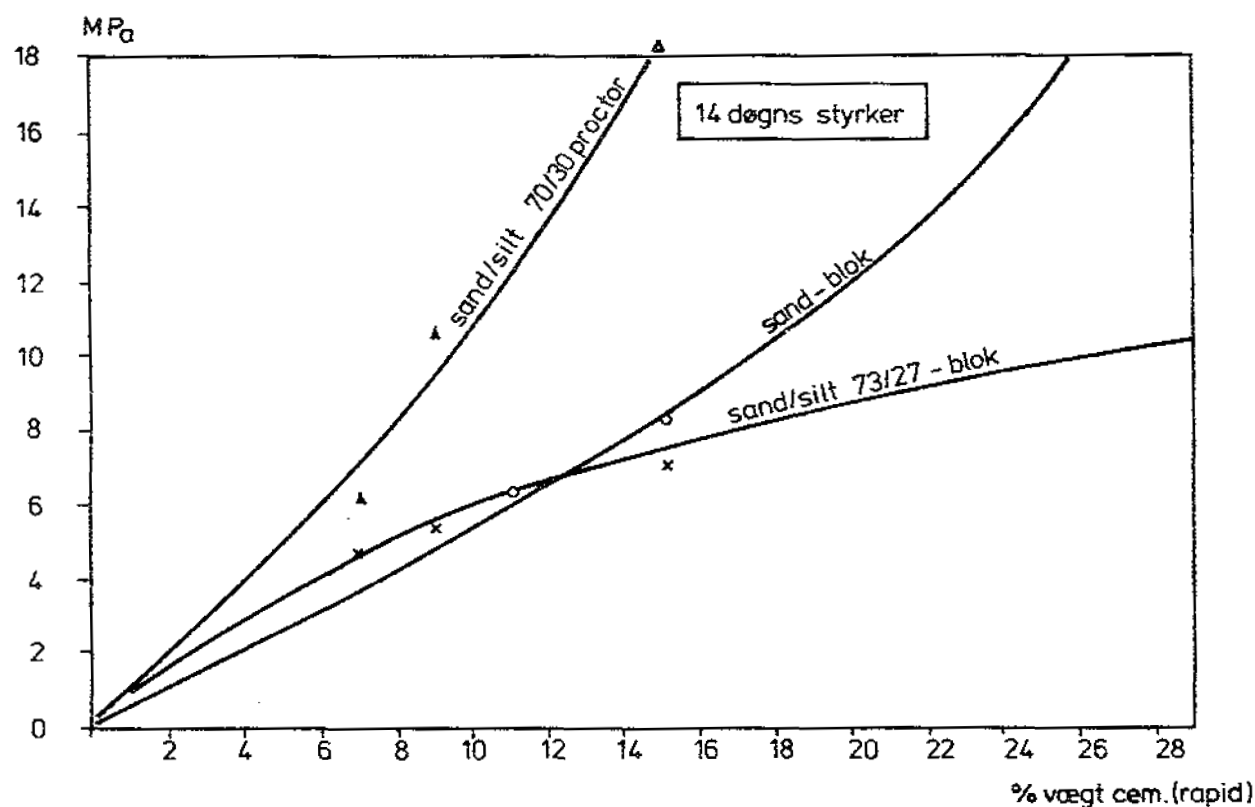


Fig. 27 : Resume af styrkeresultater.

Af figuren fremgår det: (1) at den anskaffede maskine giver en så dårlig komprimering, at der i forhold til en 100% proctor komprimering ca. kræves en fordobling af cementindholdet for at opnå en given styrke, samt (2) at der ikke synes opnået nogen fordel ved den noget mere komplicerede blok fremstillet af en sand/silt blanding i forhold til en ren sandblok pga. makinens særlige komprimeringsegenskaber.

For at bestemme den øvre grænse for styrken af en 73/27% blok med 7% cement blev en række cylindre udstøbt og komprimeret med et tryk svarende til 200 kg/cm^2 (svarende til de mest avancerede anlæg - til sammenligning kan det nævnes, at CINVA-ram pressen yder 2 kg/cm^2). Disse gav en 7 døgns styrke på 6 MPa med en spredning på 0,3 MPa. Proctor komprimeringen gav en tilsvarende styrke på 5,2 MPa.

Forsøgene har desuden vist, at alle blokke med et cementindhold over 6-7% skulle have tilfredstillende egenskaber mht. frostbestandighed, volumestabilitet og minutsugning.

Konklusionen vedr. sammensætningen af en byggeblok for Sisimiut fremstillet på den anskaffede maskine bliver herefter, at den bør fremstilles alene af betonsand. Cementindholdet må afpasses efter blokkens anvendelse. 15% Rapidcement vil give en blok, der nok til de fleste husbygningsformål vil vise sig fuld tilstrækkelig. Forsøg viser, at en sådan blok vil have følgende egenskaber:

Middeltrykstyrke	: 8,2 MPa (spredning 0,5 MPa) efter DS 438.1
Grøn styrke	: God
Densitet	: $1850 - 1950 \text{ kg/m}^3$
Minutsugning	: $20 - 30 \text{ g/dm}^2$
Svind	: 0,06% (krav 0,065% efter ASTM C 426)
Frostfasthed	: Tab 0,6 - 1% (krav under 10% efter ASTM D 560-57).

Til sammenligning kan det nævnes, at en gasbeton murblok har en karakteristisk trykstyrke på 3,5 MPa (middelstykke ca. 4,8 MPa). Gasbetonsten har en minutsugning på 150 g/dm^2 , altså væsentlig mere end vor blok. Egendommeligt nok føltes denne forskel iflg. prøvemuring ikke, hvor opmuringen blev karakteriseret "som en gasbetonsten".

Om den beskrevne blok repræsenterer det økonomisk optimale alternativ for Sisimiut er dog diskutabelt. Cementforbruget er som tidligere omtalt forholdsvis stort af 2 årsager: (1) tilslagets dårlige kornfordeling og (2) maskinens dårlige komprimeringsenergi.

En blok fremstillet af stenmel fra stenbruddet på en bedre maskine, ville reducere cementforbruget væsentligt. Ved en produktion af f.eks. 100.000 stk. blokke per år (svarende til ca. 20-30 enfamiliehuse) vil cementforbruget sikkert kunne nedbringes med ca. 100.000 kr, hvilket eventuelt ville kunne forrente en større maskininvestering og gøre større udgifter til indkøb af tilslagsmaterialer rentable.

Begrundet i projektets generelle sigte er der dog, som tidligere nævnt, i nærværende projekt set bort fra denne mulighed, idet den for Grønland som helhed - specielt når byggerne medreflekteres - må anses for meget speciel.

ANVENDELSESMULIGHEDER,
ØKONOMI & BESKÆFTIGELSE

Går vi til u-landene ser vi en meget bred vifte af anvendelser for de lokalt producerede byggeblokke. De anvendes ofte til ethvert bygningsformål fra de mindste til de største konstruktioner samt til en lang række sekundære formål - som hegn, støttemure, til opmuring af terrasser mv.

For en lokalt produceret byggeblok i Grønland kan man forestille sig bl. andet følgende anvendelsesmuligheder:

- 1) Udvendig klimaskærm
- 2) Bærende bagmur og andre indvendige, bærende vægge
- 3) Ikke-bærende, indvendige vægge
- 4) Stabiliserende skiver
- 5) Fundamenter (opmuret af massive blokke eller hulblokke, der efter opmuringen udstøbes med beton)
- 6) Udfyldningsblok i etagedæk (indstøbes som udfyldning i etagedæk)
- 7) Opmuring af tagkonstruktioner og etageadskillelser som cylindriske hvælve (opmuret som det traditionelle staldhvælv over en simpel flytteform)
- 8) Skrantbeklædning, støttemure, flisebelægning mv.

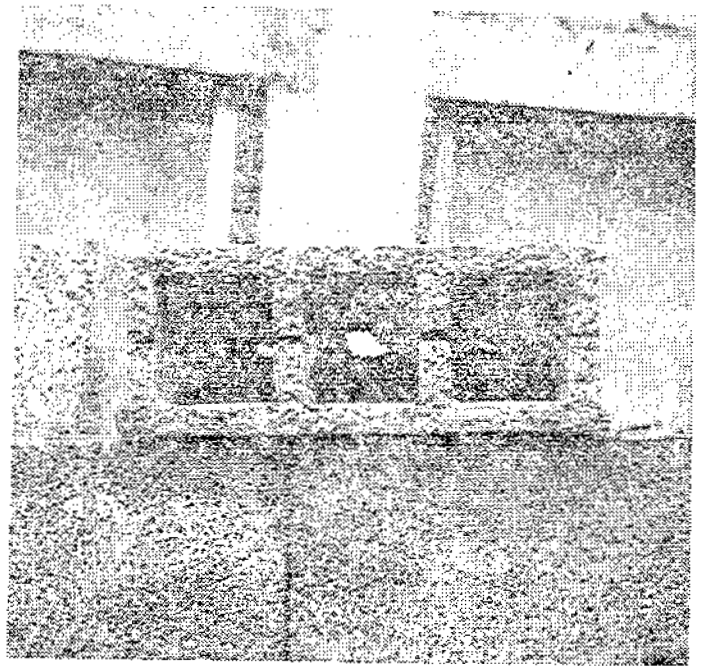
Anvendelserne er naturligvis langt hen af vejen styret af økonomien af blokløsningen sammenlignet med den traditionelle løsnings økonomi.

Eksempel på anvendelse af lokalt produceret byggeblok ses i fig. 28.

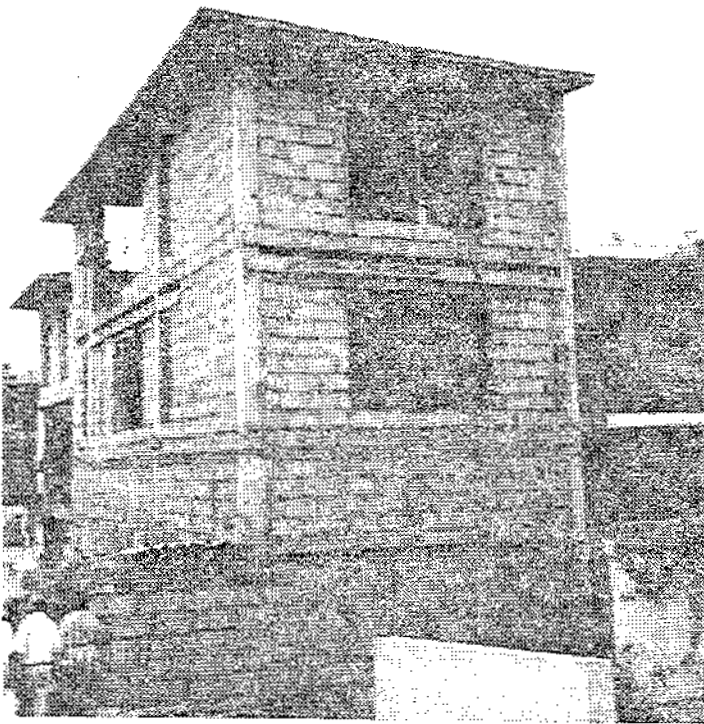
Eksemplet er hentet fra Spanien.

De mest oplagte anvendelsesmuligheder er nok de ovenfor under pkt. 1, 2 og 5 nævnte.

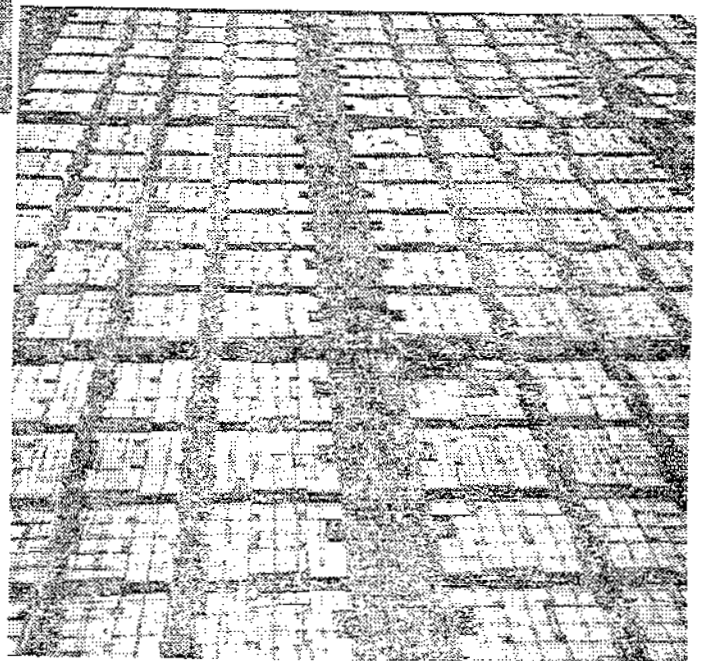
Vedr. anvendelse af blokken til fundamentsbrug er dette omtalt i den særlige tekniske rapport: Fundering af lavt byggeri i Grønland, hvorfor der ikke her skal gås detaljeret ind på dette emne. Det skal blot nævnes, at rapporten synes at vise, at en sådan anvendelse af den lokalt producerede blok vil betyde en billiggørelse af funderingen i forhold til den idag traditionelt anvendte betonløsning.



Standard byggeblok



Udfyldningsmurværk



Udfyldning i etagedæk

Fig. 28: Anvendelse
af lokalt produceret
byggeblok (Spanien)

For en ydervægskonstruktion skal der nedenfor opstilles et groft overslag for at vurdere denne løsning i forhold til en traditionel træbeklædt stolpekonstruktion.

Lokal stenproduktion:

Materialer:

1000 kg betonsand a 200 kr/m³

+ 50 kr/m³ i kørsel = 125 kr

150 kg cement a 2 kr/kg leveret = 300 kr

1150 kg blokmaterialer: 425 kr

Materialer pr. sten

Hulblokke a 17 kg = 6,30 kr/sten

Massive blokke a 28 kg = 10,30 kr/sten

Arbejdsløn:

4 mand producerer 720 sten pr. dag

4 x 8 timer x 85 kr/time /720 sten = 3,75 kr/sten

Materiel mv.:

Totalinvestering i maskinelt udstyr

kr. 100.000 afskrevet over 5 års produktion: 0,15 kr/sten

Bygningsinvestering

kr. 500.000 afskrevet over 10 år 0,30 "

Diverse forbrugsgods 1.00 " 1,45 kr/sten

Leveringspris ab produktionssted:

Hulblokke : 11,50 kr/sten

Massive blokke: 15,50 kr/sten

Eks. opmuring af 1 m² hulmur af hulblokke:Materialer:

Sten 12,5 x 2 x 11,50	= 287 kr/m ²	
Kørsel heraf 100 kr/m ³ blokke	= 35 "	
Mørtel mv.	= 20 "	
Materialer ialt		342 kr/m ²

Arbejdsløn

Opmuring & filtsning 1 mh/m ² mur	
1 x 85 x 2	170 "

Materiel mv.

Stillads	25 kr/m ²	
Div. omkostninger	50 "	
Materiel mv ialt		75 "
Omkostninger ialt		587 kr/m ²

Overslaget for hulmuren viser således en pris af størrelsesordenen 600kr/m². Til sammenligning skal det nævnes, at en traditionel (uisoleret) stolpekonstruktion normalt anslås til en ca. 50% højere pris (ca. 900 kr/m²).

Ovennævnte overslag må naturligvis tages med det forbehold, at det omfatter aktiviteter, hvorom der på nuværende tidspunkt kun findes et begrænset erfaringsmateriale. Det skitse-mæssige overslag synes dog at indikere, at en nærmere afprøvning af blokproduktionen i praksis - for herigennem at indhøste yderligere erfaringer - bør anbefales.

Udover den økonomiske gevinst en lokalproduktion eventuelt vil kunne indebære, vil en sådan lokalproduktion givet have en gunstig beskæftigelsesmæssig effekt.

Med et udstyr som det indkøbte vil 4 mand kunne beskæftiges konstant med blokproduktion, og produktionen kan anslås af en størrelse svarende til blokforbruget til 30 - 50 boligenheder pr. år alt efter konstruktionstype.

Såfremt man forestiller sig en sådan blokproduktion etableret lokalt f.eks. blot i 10 lokaliteter i Grønland, vil produktionen totalt repræsentere en merbeskæftigelse af ca. 40 ufaglærte arbejdere.

RESUME & KONKLUSION

Vi har i nærværende rapport beskæftiget os med anvendelsen af lokale materialer i boligbyggeriet i Grønland.

Efter nogle generelle betragtninger blev det som hovedstrategi foreslået, at udnytte de sedimentære aflejringer i Grønland af silt, sand og grus til en lokalproduktion af en byggeblok i de enkelte forbrugsområder.

En sådan produktion vil naturnødvenlig helt afhænge af de forekomster, der findes på den pågældende lokalitet. Det var således nødvendigt at koncentrere projektet om et konkret undersøgelsesfelt. Sisimiut blev udvalgt hertil.

De lokale sedimentære materialeforekomster blev herefter kortlagt og materialeprøver hjemtaget og analyseret. På basis af disse resultater blev der foretaget en teoretisk proportionering af en soil-cement byggeblok, der - under forudsætning af fornøden komprimering under fremstillingen - kunne fremstilles af en blanding af lokalt silt og sand med et minimum af cementtilsætning (6-7%). De fundne lokale forekomster viste sig anvendelige til formålet, men ikke de bedst tænkelige, da materialet er meget enskornet og indeholder meget få små partikler. Prøverne synes dog at opfylde alle teoretiske holdbarhedskrav.

På dette trin af projektet blev der foretaget en analyse af tilgængeligt apparatur til simpel blokstensfremstilling. Markedet viste sig meget spredt og vanskeligt at overse. Som resultat af søgningen blev der udvalgt en semimobil, halvautomatisk, engelsk blokstensmaskine, der i indkøb incl. forme kostede ca. 50.000 kr.

Prøvestøbninger på maskinen viste, at den ikke kunne yde den optimale komprimeringsenergi, hvilket betingede en større forøgelse af cementmængden. Ligeledes viste det sig vanskeligt at udstøbe sand/silt blandingen på maskinen, hvorfor en blok fremstillet alene på basis af søsand tilsat cement syntes optimal.

På basis af en længere forsøgsrække og udvidede holdbarhedsprøver blev det konkluderet, at en sådan blok med et cementindhold på 12-15% skulle give en både stærk og holdbar byggeblok. Det blev dog fremhævet, at en realistisk vurdering af holdbarheden kun kan fås efter en afprøvning af blokken i det grønlandske miljø.

Prøveopmuring samt filtsning og pudsning på stenen viste ingen særlige problemer. Blokken viste sig stort set at opføre sig som en gasbetonsten.

Afslutningsvis blev byggeblokkens anvendelsesmuligheder samt produktionens økonomi og beskæftigelsesmæssige effekt drøftet. Der blev anvist en lang række anvendelsesmuligheder, og gennem nogle skitse-mæssige overslag blev det vist, at anvendelsen - i hvert fald til visse formål - synes rentabel sammenlignet med traditionelle løsninger. Det blev desuden anført, at en sådan lokalproduktion af byggeblokke i en række lokaliteter spredt over Grønland vil have en ikke ringe beskæftigelsesmæssig effekt.

Vor undersøgelse har som anført været koncentreret om et enkelt lokalitet: Sisimiut-området, og man kan naturligvis stille spørgsmål ved, hvor repræsentativ for Grønland dette valg har været. Det er klart, at en egentlig landsdækkende vurdering af beskæftigelseseffekten alene kan foretages på basis af en række konkrete undersøgelser for et antal lokaliteter spredt over Grønland. Umiddelbart synes situationen - materialeteknisk - dog ikke at være særlig speciel i Sisimiut i forhold til mange andre lokaliteter i Grønland.

På basis af ovenstående kan det konkluderes, at projektets hovedidé synes fornuftig, og det kan anbefales, at en begrænset forsøgsproduktion etableres i Sisimiut for herigennem at indhøste praktiske erfaringer med produktion og anvendelse af den lokalt fremstillede byggeblok.

LITTERATURLISTE

1. American National Standards: ASTM D 558 (Moisture density analyser), 1976.
2. American National Standards: ASTM C 426-70 (Svindanalyser), 1976.
3. American National Standards: ASTM D 560-57 (Frost/tø analyser), 1976.
4. American National Standards: ASTM D 559-57 (Våd/tør analyser), 1976.
5. Dansk Standard: DS 405.3 (Humusindhold), 1978.
6. Dansk Standard: DS 405.2 (Densitet og absorption, 1978.
7. Dansk Standard: DS 405.8 (Kornstørrelsesfordeling), 1978.
8. Dansk Standard: DS 405.9 (Kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse), 1978.
9. Dansk Standard: DS 405.11 (Vandindhold), 1978.
10. Dansk Standard: DS 438 (Blok murværk), 1981.
11. Dansk Standard: DS 438.1 (Blokkens densitet og trykstyrke, 1981
12. Hansen, Torben C.: Betontechnologi, Laboratoriet for Bygningsmaterialer, 1979.
13. Herholdt, Aage D. et al.: Beton-bogen, Aalborg Portland, 1979.
14. Ingles og Metcalf: Soil Stabilization, Butterworths, 1972.
15. IVTB: Vejbygning, kursusmateriale 6702, 1979.
16. IVTB: Vejbefæstelser, kursusmateriale 6711, 1979.
17. Portland Cement Association: PCA Soil Primer, 1973.
18. Portland Cement Association: Soil-cement Laboratory Handbook, 1971.

19. T.T.T.: Tegl, mørtel, murværk -egenskaber, 1979.
20. Aalborg Portland: Cement og Beton, 1982.