

# JORDHUS

EN SAMLING ARTIKLER

AV

*O. Eide og L. Bjerrum*

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

*R. Selmer-Olsen*

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

*Ingolf Pettersen*

BOLIGDIREKTORATET

*H. Granum og J. Frydenlund*

KONTORET FOR BYGGFORSKNING

OSLO 1952

---

Særtrykk av Teknisk Ukeblad

I kommisjon: Johan Grundt Tanum Forlag

# Geotekniske betraktninger over jords anvendelse som byggemateriale

*Sivilingeniørene O. Eide, M. N. I. F. og L. Bjerrum, M. I. F.*

*Norges geotekniske institutt*

DK 624.131 : 691.41

## 1. Innledning.

Som jord betegnes innenfor geoteknikken alle løsavleiringer hvor kornstørrelsen kan variere fra leire til grus. Jordmaterialet kan enten bestå av rene bergarts- og mineralkorn eller være iblandet organiske stoffer og betegnes da som humusholdig jord som f. eks. det øvre matjordlag.

Mens anvendelsen av jord til hus- og dambygging har vært kjent fra de tidligste tider, er det først ved geoteknikkens utvikling i de siste årtier at en slik anvendelse har kunnet finne sted på rasjonell basis, dvs. at man kan tilrettelegge arbeidet slik at materialet oppnår de ønskede egenskaper, og at man har mulighet for å kontrollere disse under utførelsen.

I denne artikkel skal kort omtales de prinsipper geoteknikken bygger på når en jordarts egnethet som konstruksjonsmateriale skal bedømmes, eller når innflytelsen av de forskjellige faktorer på de bestemmende egenskaper skal undersøkes.

## 2. Bestemmende egenskaper.

Det er to typer av jordhusbygging som er kommet til anvendelse her i landet, nemlig stampejordhus og hus muret av lufttørrede jordblokker. Ved stampejordhus stemples jorden mellom forskalingslemmer, og oppføringen av veggene skjer ved suksessiv heving av forskalingen. Ved den annen metode blandes jorden med halm eller sagflis hvoretter blokkene formes og legges til uttørring før de nyttes til oppmuring av veggene.

Forat en jordart skal være brukbar til stampejordhus, må den ved stamping ved et passende vanninnhold oppnå tilstrekkelig fasthet slik at for-

skalingslemmene kan fjernes når stampingen er ferdig uten at det skjer skadelige deformasjoner av veggene. Ved uttørring må fastheten senere tilta i en slik grad at veggene blir i stand til å bære vekten av sin egen tyngde, etasjeadskillere og tak, samt tåle vindbelastning på bygningen. Videre må svinnet som oppstår under uttørringen, ikke være så stort at det kan medføre skader f. eks. i form av sprekkdannelse.

Ved bruk av lufttørrede blokker er det forutsetningen at den alt overveiende del av svinnet har funnet sted før oppmuringen, og det kan følgelig her brukes materialer som gir større svinn. For øvrig stilles ved denne byggemetode de samme krav med hensyn til fastheten av veggene.

Forutsetningen ved begge byggemåter er at veggene ved isolasjon, puss eller annen utvendig behandling kan gjøres tilstrekkelig værbestandige.

## 3. Vanninnholdets innflytelse.

Den faktor som i første rekke er bestemmende for en komprimert jords egenskaper, er vanninnholdet. For å undersøke innenfor hvilke grenser vanninnholdet skal ligge for å oppnå de ønskede egenskaper av de ferdige materialer, utføres i laboratoriet komprimeringsforsøk eller stampeforsøk hvor jorden nedstemples i en sylindrisk form i flere lag. Disse forsøk tar sikte på å klarlegge forholdet mellom det arbeid som utføres, vanninnholdet ved komprimeringen og det resultat som oppnås. Dette resultat uttrykkes ved den ferdigkomprimerte jords *tørr-romvekt*, dvs. vekten av fast stoff pr. volum enhet av jorden ( $t/m^3$ ). Jo større tørr-romvekten er, jo mer kompakt er jorden.

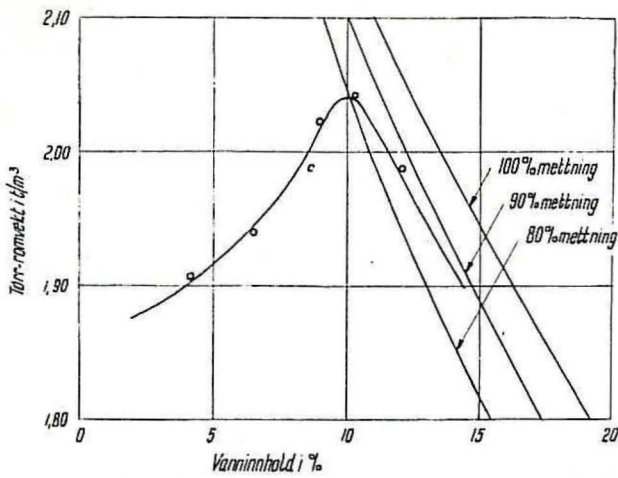


Fig. 1. Komprimeringskurve for sandig leire.

Den tørromvekt som oppnås ved komprimeringen avhenger av jordarten, stampingsens utførelse og vanninnholdet. Fig. 1 viser resultatet av en serie stampeforsøk på en og samme jordart, idet hvert punkt angir den resulterende tørromvekt og vanninnholdet. Ved alle forsøk ble stampingen utført på samme måte, men med forskjellig vanninnhold. Man ser av figuren at tørromvekten øker med økende vanninnhold inntil et vanninnhold på 10 %, og avtar så igjen for større vanninnhold. Den maksimale tørromvekt, 2,04 t/m<sup>3</sup>, oppnås derfor i dette tilfelle ved et vanninnhold på ca 10 %. Dette vanninnhold betegnes som det optimale vanninnhold<sup>1</sup>. Linjene til høyre på fig. 1 viser i hvilken grad porene i jordprøven er vannfylte. Jo lavere vanninnholdet ligger under det optimale, desto større er den del av porene som er fylt med luft; ved det optimale vanninnhold er 80 % av porene vannfylte.

#### 4. Komprimeringsarbeidets innflytelse.

Det optimale vanninnhold som altså gir den maksimale tørromvekt, er imidlertid ikke en konstant for en jordart, men avhenger av hvor kraftig stampingen utføres. I fig. 2 er vist tre forskjellige komprimeringskurver hvor stampingen ble utført med henholdsvis 15, 25 og 35 slag på hvert lag. Disse kurver viser for det første at tørromvekt tiltar med økende stamping. Men dernest ser man også av fig. 2 at det vanninnhold som gir maksimal pakkingstetthet, avtar med økende stamping. Dette vil si at for å kunne utnytte en øking i stampearbeidet fullt ut, må materialet være tilstrekkelig tørt.

Den maksimale tørromvekt og det vanninnhold som denne oppnås ved, varierer meget sterkt for de forskjellige jordarter. Uenskorndede jord-

<sup>1</sup> For å gi et inntrykk av en jordarts konsistens ved dette vanninnhold kan nevnes at det optimale vanninnhold er det hvor jorden ennå kan formes til en sammenhengende kule. Ved å trykke kula mellom håndflatene vil den sprekke og smuldre.

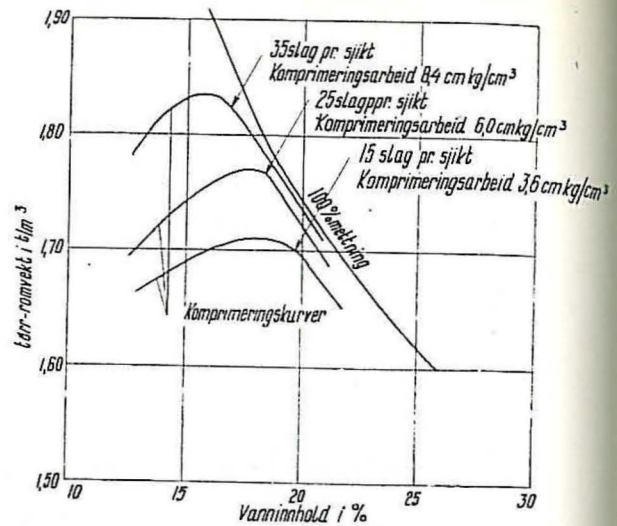


Fig. 2. Sammenheng mellom tørromvekt og vanninnhold for forskjellig komprimeringsarbeid.

arter som inneholder korn av varierende størrelse slik at de minste korn fyller ut hulrommet mellom de større, oppnår størst tetthet. De mer enskorndede jordarter oppnår derimot ikke så stor tørromvekt.

#### 5. Fasthet.

Den fasthet som oppnås ved stampingen vil avhenge av jordarten, vanninnholdet og hvor kraftig stampingen utføres. Nederst på fig. 3 er vist hvorledes trykkfastheten like etter stampingen avhenger av vanninnholdet, og øverst på samme figur er for sammenlikningens skyld tatt med komprimeringskurven. Som det vil ses av figuren er fastheten like etter stampingen størst for et vanninnhold som ligger noe lavere enn det optimale. For større vanninnhold synker fastheten meget raskt.

Ved en uttørring p. g. a. fordamping øker fastheten fra den begynnelsesfasthet som ble oppnådd

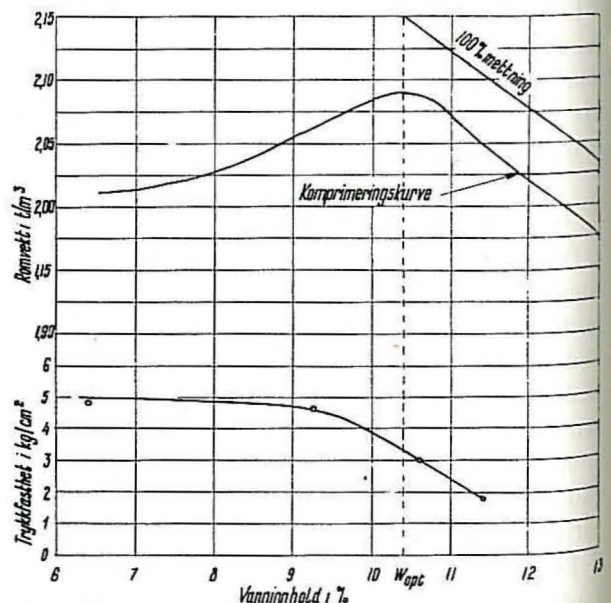


Fig. 3. Trykkfasthet av prøver komprimert ved forskjellig vanninnhold.

ved stampingen. Årsaken til denne fasthetsøking er at kapillarkreftene bevirker et økt trykk mellom de enkelte korn på samme måte som hvis prøven utsettes for et allsidig konsolideringstrykk. I mange tilfelle vil fastheten umiddelbart etter stampingen ikke være tilstrekkelig, og betingelsen for at en jordart under disse forhold skal være brukbar til jordhus, er derfor at kapillariteten er så stor at jorden oppnår den fornødne fasthetsøking ved uttørringen. Nå er kapillariteten størst i fin-kornede jordarter, og en jords egnethet til jordhus er derfor betinget av at den inneholder en viss mengde finmateriale, avhengig av korngraderingen for øvrig. Et humusinnhold vil bevirke at jorden får evnen til å binde mer vann, og kapillariteten økes, men plastisiteten endres ikke vesentlig. Ved tilsetning av humus til en mager jord kan derfor oppnås en økt fasthet etter stampingen og uttørringen. Det vanninnhold som gir maksimal tørr romvekt ved et bestemt stampearbeid, vil også gi den største endelige fasthet etter uttørringen. Både ved direkte stampepede vegger og ved blokker som tørkes før oppmuringen, oppnår man således den største endelige fasthet når vanninnholdet under stampingen er lik med eller litt under det optimale.

#### 6. Svinn.

Når en fuktig jordprøve tørker, vil som nevnt ovenfor kapillarkreftene bevirke en sammenpressing av prøven inntil en viss fuktighetsgrense som betegnes for *svinn grensen*, er nådd. En videre uttørring ut over denne grense vil ikke medføre ytterligere volumforminsking av prøven.

For å unngå skadelig svinn ved stampejordhus må vanninnholdet ved stampingen, dvs. det optimale vanninnhold, følgelig ikke ligge for høyt over svinn grensen.

Ved blokkmetoden vil den overveiende del av svinn finne sted før oppmuringen. Selv ved iblanding av halm vil imidlertid et stort svinn kunne medføre en ujevn deformasjon av blokkene.

#### 7. Bearbeidelighet.

Det er innlysende at en jordarts bearbeidelighet økes med vanninnholdet. Tendensen på byggeplassen er derfor også at materialet innstampes i for plastisk og våt tilstand.

Ved blokkmetoden hvor kravene til fastheten umiddelbart etter stampingen ikke er så store, og hvor svinnet i alt vesentlig finner sted før oppmuringen, kan man anvende et større vanninnhold og et tilsvarende mindre stampearbeid (fig. 2)<sup>2</sup>.

De fordeler man oppnår ved å øke vanninnholdet, vil imidlertid medføre at det medgår mer tid til uttørringen. Hvis det kun er kort tid til disposisjon før en akter å sette i gang med oppmuringen, må det tilrådes å arbeide med et vanninnhold som ikke ligger vesentlig høyere enn det optimale.

For stampejordhus er kravet til vanninnholdet betydelig strengere enn hva det er tilfellet ved blokkmetoden. Vanninnholdet må ligge omkring det optimale, hvilket vil si at det også stilles betydelig større krav til stampearbeidets intensitet. Til sammenlikning kan nevnes at komprimeringsarbeidet ved en laboratoriebestemmelse av det optimale vanninnhold utgjør ca 6 kgf/cm<sup>3</sup> ferdig stampet jord.

#### 8. Fare for oppbløtning.

Ved stampejordhus vil vanninnholdet etter lengre tids uttørring antagelig ligge mellom 1—2 % og for leirblokker litt høyere. Til dette vanninnhold svarer det en relativt stor fasthet. Men for å bevare denne fasthet er det en forutsetning at materialet beskyttes mot en oppbløtning. Materialets fasthet er jo basert på kapillarkrefter i porevannet, og selv den minste vannoppsuging vil medføre en reduksjon av fastheten.

Er veggen beskyttet mot oppbløtning med et værbestandig materiale, skulle det derimot ikke være noen grunn til å anta at den fasthet som er oppnådd på grunn av kapillarkreftene, vil avta med tiden.

<sup>2</sup> Av samme grunn kan relativt fete jordarter finne anvendelse ved blokkmetoden; man må bare regne med et økt arbeid til materialets tilberedning, likesom det medgår mer tid til uttørringen.

# Geografisk fordeling av jordarter egnet til jordhus

Statsgeolog R. Selmer-Olsen

DK 691.41 (481)

## Egnede jordartstyper.

Til stampejordhus er sterkt leirholdig morenemateriale og moreneleir det gunstigste. Mellomjordarter (lagdelte leirholdige mo og mjelejordarter) kan også nyttes. Men disse trenger oftest å eltes og bearbeides noe mer før stampingen.

Til lufttørkede jordblokker kan mer fete leirtyper nyttes.

## Geografisk fordeling av egnede jordarter.

Leirer bortsett fra leirholdige morener er avsatt under vann. De finnes derfor her i landet i første rekke i de områder som har stått under havet den første tiden etter istiden (på lavere nivåer enn den øvre marinegrense). Lokalt kan en også finne leiravsetninger rundt sjøer hvor vannstanden av en eller annen grunn er senket. Videre finner en leirer over den øvre marinegrense på Jæren. Disse er eldre enn de vanlige leirer.

Leirholdige morenematerialer finnes for det vesentligste i de strøk av landet hvor bløte skiferbergarter utgjør en vesentlig del av fjellgrunnen. Likeledes tildels i isens bevegelsesretning mot havet fra disse områder, og da særlig på lavere nivåer enn den øvre marinegrense.

På fig. 1 har en søkt å gi et bilde av hvor de vesentligste forekomster av jordtyper egnet til jordhus finnes i sørlige Norge.

Med sort er avmerket områder hvor leirer egnet for lufttørkede jordblokker må sis å være relativt hyppig forekommende. Hvor der er grunt til fjell, vil der innen dette område også hyppig finnes leirholdig morenemateriale og moreneleir egnet til stampejord. Som øvre lag over leirslettene særlig rundt oppstikkende fjellpartier finnes ofte leirholdige utvasknings- eller blandingsmaterialer. Slike kan også være egnet til stampejord likesom lagdelte underliggende leirholdige mo og mjelejordarter.

De dobbelt skraverte partier søker å angi de områder hvor leirholdig morene egnet for stampejord er meget hyppig.

De enkelt skraverte partier søker å angi om-

råder hvor leirholdig morenematerialer forekommer noe mer spredt.

For øvrig kan en ellers rundt om i landet finne enkelte forekomster av jordarter som kan nyttes

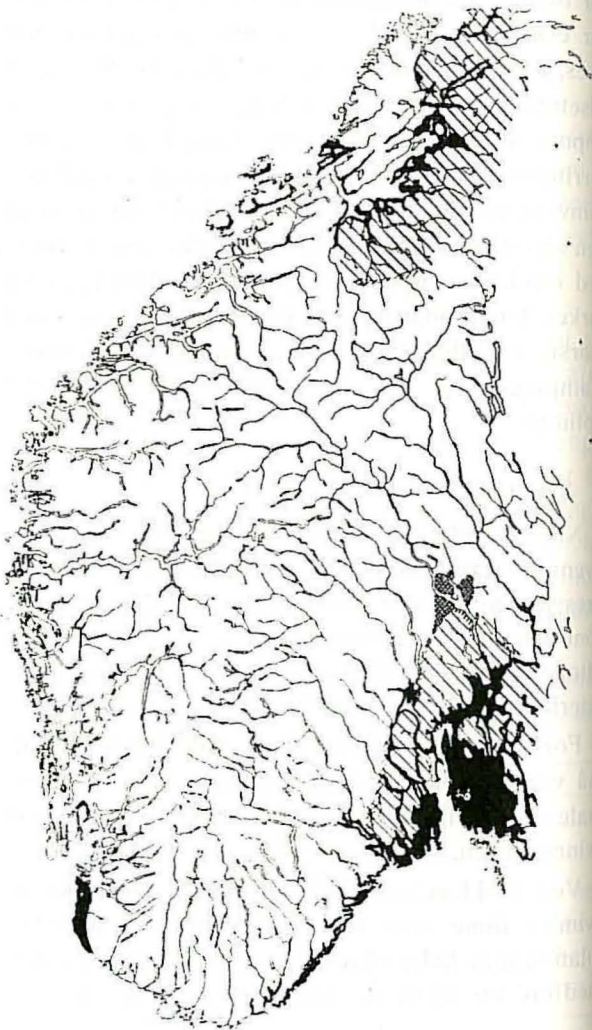


Fig. 1.

til jordhus. Men det må sis at dette gjennomgående er små og meget spredte forekomster.

Det skal dertil sterkt fremheves at egnede tomter for jordhusbygging oftest bare utgjør en meget liten del av tomtene innen de avmerkede områder, idet disse på grunn av målestokken bl. a. må omfatte sandområder, myrstrekninger og mindre partier av bart fjell.

# Erfaringer med jordhusbygging

Overingeniør Ingolf Pettersen, M. N. I. F.

DK 691.41.001.8

På foranledning av Boligdirektoratet ble det i fjor oppført en del jordhus på forskjellige steder i landet, i det hele ca 60 hus; dels med vegger av stampet jord (den såkalte pisemetoden), dels med vegger av lufttørrede blokker laget av våt leire iblandet halm (den såkalte adobemetode). De ble oppført av selvbyggere som hadde gjennomgått kurs i oppførelse av jordvegger. Boligdirektoratet hadde i denne forbindelse utarbeidet midlertidige bestemmelser og direktiver for oppførelse av jordhus.

En skal nedenfor anføre en del av de erfaringer som ble gjort ved oppføringen av nevnte jordhus.

Først og fremst er det meget viktig å få analysert og tatt trykkprøver av jorden på byggestedet på forhånd for å få bestemt om den kan brukes til jordhusvegger eller ikke, og i tilfelle hva den egner seg best til, enten til stampejordvegger eller til blokker. Det må derfor innsendes jordprøver til en offentlig prøvningsanstalt for å få dette prøvd av sakkyndige. Det øverste jordlag bør alltid fjernes til en dybde av ca 20 cm.

## Stampejordvegger.

Det er meget komplisert å oppnå en ensartet blanding, når det må tilsettes en manglende kornfraksjon til den forhåndenværende jord. Særlig er det vanskelig å blande manglende leirjord til et sandjordlag. Det bør unngås. I tilfelle bør i alle fall leiren først tørres og knuses til pulver før blandingen finner sted, og til det må brukes en jordfreser.

Endel ren matjord kan godt forefinnes i den anvendte jordmasse. Matjorden bevirker større

trykkfasthet. Jordmassen bør for øvrig i høyden inneholde 25 % leire, da det viser seg at jorden ellers lett blir hengende på stamperen.

Forskalingslemmene bør ikke være lengere enn 2,5—3,0 m; de blir ellers for uhandterlige, særlig når en kommer litt opp i høyden. Underkant lem bør minst gå 15 cm under overkant ferdig stampet vegg, ellers vil lett den øverste del av denne ved maskinstamping bli noe ødelagt på yttersidene. En bør helst bruke maskinstamping, da det er lettere og kan gå dobbelt så fort som ved håndstamping. Det er sannsynlig at maskinstamping gir jevnere og bedre resultat enn håndstamping.

En bør ikke bruke håndstamping og maskinstamping om hverandre. Maskinen stamper hardere enn håndstamperen, og forårsaker en ganske sterk vibrasjon av massen. Bruker en derfor maskinen over et håndstampet veggparti, risikerer en å få små utrasninger og kanskje også sprekker.

Det er viktig å stampe langs kantene først. Stamper en først i midten, vil maskinen gjerne slå småstein og klumper ut mot sidene istedenfor å knuse dem. Småstein og leirklumper som således kommer ytterst i veggen vil lett bli ristet løs og falle



Fig. 1. Vellykket stampejordhus.

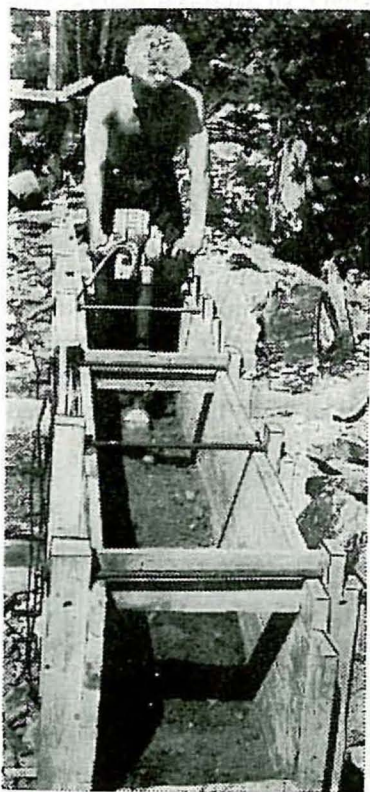


Fig. 2. Stamping med maskin.



Fig. 3. Maskinfremstilling av leirblokker.

ut når man stamper neste høyde. En bør ikke legge for tykke jordlag selv om en stamper med maskin, ikke over 15 cm.

Arbeidsutførelsen har stor betydning for fastheten. Hvis stampingen utføres ujevnt eller jorden inneholder tørre klumper e. l., vil fastheten reduseres.

Ellers er det meget viktig å påse at veggene stemples i lodd og vater.

Det viser seg at det er meget tungvint å stampe veggene høyere enn en etasje. En bør derfor innrette loftet til leilighet, hvis en vil ha to leiligheter.

Det bør være minst 3, helst 4 mann til stamping av veggene. Oppførelsen av stampejordhus egner seg derfor best for selvbyggerlag. (I slike lag vil det også som oftest finnes endel bygningshåndverkere hvilket vil være en betryggelse.)

#### Vegger av lufttørrete leirblokker med halm.

Massen bør inneholde 30 % leire (kornstørrelse under  $\frac{2}{1000}$  mm) og derover. Den må være fri for matjord.

Blokkene bør ikke lages for tykke, helst ikke over 12 cm for lettere å kunne tørke.

Blokkene blir støpt med en lengde lik veggens tykkelse. Det bør imidlertid for ytterveggene også lages en del blokker av halvt format til bruk ved vinduer og dører og også andre steder. En bør imidlertid ikke lage disse blokker ved å dele en



Fig. 4. Lagring av blokker.

hel blokk i to, da den ene del iallfal som regel går i stykker.

Blokkene får forskjellig størrelse alt etter vanninnholdet. Vanntilsetningen til massen bør derfor tilmåles for å få blokker av mest mulig samme fuktighetsgrad. Vanntilsetningen må ikke være større enn nødvendig for å få en god blokk.

Ved bruk av lange halmstrå oppstår ofte halmreder (ansamling av halm) i blokkene, hvilket nedsetter trykkfastheten. Dette må en ved fremstilling av blokkene være oppmerksom på.

Ved bruk av kortere halmstrå fås en jevnere fordeling av halmen i blokkene. På den annen side binder lange halmstrå massen bedre sammen.

Blokkene må lagres på et tørt underlag, helst trelemmer. Ved lagringen må for øvrig sørges for at hver enkelt blokk så vidt mulig ligger fritt til alle kanter for at de kan tørke hurtig.

Både under lagringen og muringen av veggene må blokkene beskyttes mot regn. Helt tørre blokker kan dog være ganske motstandsdyktige mot væte.

Foruten bløt leire iblandet kortere halmstrå, kan også brukes alminnelig kalkmørtel til muring av veggene. Muring med kalkmørtel går hurtigere enn muring med leire.

Av de foretatte analyser av jorden til stampejordhus fremgår at ved en jevn kornfordeling blir trykkfastheten størst; men den fastsatte trykkfasthet 15 kg/cm<sup>2</sup> etter 28 døgn for terning 10 × 10 × 10 cm viser seg å kunne oppnås ved mange forskjellige kornfordelingskurver. For øvrig lå trykkfastheten ved de prøver som er tatt mellom 20—70 kg/cm<sup>2</sup>.

Trykkfastheten ved prøver av lufttørrete leirblokker med halm, kom ikke så høyt. Det er jo også rimelig da trykkprøver av bløt leirjord som er tørket ikke kan oppnå den trykkfasthet som prøver av tørr stampet jord. Desto bløtere leiren er, jo mindre vil trykkfastheten bli av den tørre blokken. Derfor bør massen ikke gjøres bløtere enn det som er nødvendig for å få en god blokk.

#### Utvendig behandling.

Utvendig puss av ytterveggene bør ikke foretas før de er ganske tørre. Det forsiktigste er først kun å smøre veggene utvendig 2 ganger med varm steinkulltjære og før siste strøk er tørket, kaste på et lag med skarp sand. Etter ca. ett års forløp, eller tidligst når ytterveggen er tørr, kan pusses med alminnelig kalkmørtel etter først å være gitt et påkast med tynn cementmørtel (slemmet). Det skulle ikke være nødvendig å bruke netting.

I værharde strøk med slagregn, bør iallfall de mest utsatte vegger utvendig forsynes med et lag utlektet panel, eller kles med eternitplater e. lign.

# Enkelte teknisk-økonomiske forhold ved jordhus

Sivilingeniør Hans Granum, M. N. I. F. og ingeniør Jan Frydenlund

Kontoret for byggforskning

DK 691.41.003.1

I denne artikkelen skal meddeles enkelte opplysninger om isolasjonsevne, varighet og timeforbruk ved jordhusbygging, noe som sjelden behandles i litteraturen.

Når det gjelder utførelsen av jordhus, henvises til departementets forskrifter og til den rikholdige litteratur som finnes om emnet, se litteraturlisten.

## Isolasjonsevne.

Det foreligger en rekke til dels nokså motstridende opplysninger om jordveggers varmesulerende egenskaper. I det meste av den vanlige litteratur om jordhus karakteriseres de som usedvanlig tette, gode og varme. Denne karakteristikker bygger på subjektive inntrykk fra folk som bor i slike hus, og selvsagt må slike uttalelser tillegges vekt. På den annen side forekommer opplysninger om at isolasjonen er så dårlig at veggene rimer på innsiden om vinteren, og at husene er ubrukbare til boliger uten tilleggsisolasjon. Begge deler kan kanskje for det enkelte tilfelle være riktig, fordi isolasjonsevnen i høy grad avhenger av jordens art og byggemåten, som kan skifte meget fra det ene tilfelle til det andre.

Sammenliknet med de fleste andre byggematerialer, er det gjort få direkte målinger av isolasjonsevnen for jordvegger. Etter oppdrag fra Boligdirektoratet og Kontoret for byggforskning har derfor Varmekraftlaboratoriet ved N. T. H. i vinter utført noen målinger av varmeledningsevnen for prøver av stampejord og for leirblandet leire. Resultatet av disse målinger framgår av fig. 1 og fig. 2. Som en ser av figurene var varmeledningstallet for stampejord  $\lambda = \text{ca } 0,6 \text{ kcal/m}^\circ\text{Ch}$  ved en romvekt  $\gamma = 2,04 \text{ kg/dm}^3$ . For leirblokker var  $\lambda = \text{ca } 0,4 \text{ kcal/m}^\circ\text{Ch}$  ved en romvekt  $\gamma = \text{ca. } 1,7 \text{ kg/dm}^3$ . Professor Watzinger har også tidligere målt varmeledningstallet for stampet jord, blanding av sand, leire og matjord i vol. forhold 3 : 5 : 2 og funnet  $\lambda = 0,37$  ved romvekt  $\gamma = \text{ca } 1,6 \text{ kg/dm}^3$  og middeltemperatur  $0^\circ \text{C}$ .

Målinger som dette gir bare tall for den enkelte prøve, og gir derfor ikke noe fullstendig bilde av forholdene ved et så uensartet materiale som jord. For å få hel oversikt måtte en også utføre spred-

ningsundersøkelser, som ville bli temmelig omfattende. Imidlertid kjenner en fra liknende materialer til en viss grad den sammenheng som består mellom romvekt og varmeledningstall, og

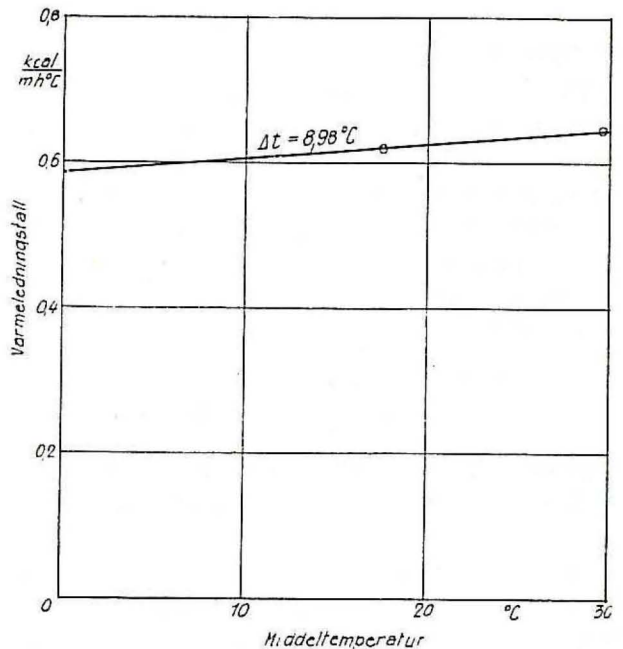


Fig. 1. Varmeledningstallet for stampejord med romvekt  $2,04 \text{ kg/dm}^3$ .

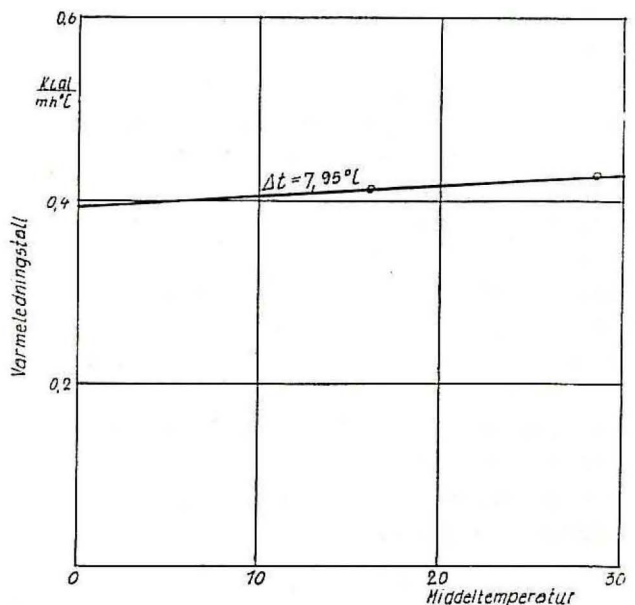


Fig. 2. Varmeledningstallet for leirblokker med romvekt  $1,7 \text{ kg/dm}^3$ .



likeså mellom fuktighetsinnhold og varmeledningstall. Det er sannsynlig at også andre faktorer har betydning, så som kornstørrelse, kornfordeling og kjemisk oppbygging. For sammenhengen mellom romvekt og varmeledningstall er det av Kreüger og Eriksson oppstilt følgende formel for tørre materialer:

$$\lambda = c \left( \frac{\gamma}{5} + \frac{\gamma^2}{30} \right)$$

$$\lambda = \text{kcal/m}^\circ \text{Ch når } \gamma \text{ settes inn i kg/dm}^3$$

$c$  er en konstant som avhenger av materialets art. For brent stein (tegl) er funnet  $c=0,8$ . For mur mortel og for ubrent stein er funnet  $c=1,0$ .

### Stampejord.

Romvekten for torr, vanlig stampejord kan etter de prøver som er utført på Veglaboratoriet, antas å variere mellom grensene  $1,6 \text{ kg/dm}^3$  og  $2,0 \text{ kg/dm}^3$ , med en middelverdi  $\gamma = \text{ca } 1,8 \text{ kg/dm}^3$ . Beregnet for  $\gamma = 1,8$  får vi etter Kreüger og Erikssons formel:  $\lambda = c \cdot 0,70 \text{ kcal/m}^2 \circ \text{Ch}$ .

Beregnet etter  $c = 0,8$  gir formelen et varmeledningstall

$$\lambda = 0,75 \text{ for romvekt } \gamma = 2,0 \text{ kg/dm}^3$$

$$\lambda = 0,43 \text{ for romvekt } \gamma = 1,6 \text{ kg/dm}^3$$

Disse tall ligger høyere enn de målte verdier, hvilket tyder på at Krüger-Erikssons formel gir for ugunstige resultater i dette tilfelle. Professor Watzingers tidligere undersøkelser tyder også på at formelen generelt gir for høye verdier for varmeledningstallet ved romvekt over  $1,5$  — særlig for løse fyllmaterialer. (Stampejord og lufttørket leire kan kanskje i denne forbindelse betraktes som en mellomting mellom faste materialer og løse fyllstoffer.)

Det synes rimelig å regne med at varmeledningstallet for tørre stampejordvegger vil ligge i området  $0,35$ — $0,6$  og at  $\lambda = 0,6$  kan betraktes som en noenlunde sikker øvre grense.

Hvis jorden ikke er helt torr, blir varmeledningstallet større. Uttørkingen av en tykk stampejordvegg tar sikkert atskillig tid. En dansk undersøkelse tyder på at en jordvegg med tiden vil komme ned i ca.  $1 \text{ pst.}$  fuktighet, men at uttørkingen kan ta år.

På grunnlag av det foranstående kan en  $40 \text{ cm}$  torr stampejordvegg (uten puss e. l.) ventes å gi omtrent følgende varmegjennomgangstall som øvre (ugunstigste) grense:

$$k = \frac{1}{0,20 + \frac{0,40}{0,60}} = 1,15 \text{ kcal/m}^2 \circ \text{Ch}$$

På grunn av ujevnheten i jorden kan en i de enkelte tilfelle vente variasjoner fra  $k = \text{ca. } 0,75 \text{ kcal/m}^2 \circ \text{Ch}$  i gunstigste tilfelle til  $k = \text{ca. } 1,15$  i ugunstigste tilfelle.

Selv om stampejord i gunstigste tilfelle kan gi en  $k$ -verdi omkring  $0,75$  og således fullt ut tilfredsstillende byggeforskriftenes krav uten tilleggsisolasjon, er det sikkert økonomisk riktig å tilleggsisolere  $40 \text{ cm}$  stampejordvegger i mange tilfelle, særlig fordi jordhus er mest aktuelle i de forholdsvis kalde innlandsstrøkene.

For å ta vare på de fordeler en stor varmekapasitet gir i de fleste boliger, ville det være riktig å legge isolasjonen utvendig, f. eks. i form av en ytterpanel (fig. 3). — I stedet for trepanel kan en selvsagt også bruke eternittpanel e. l. Ved å bruke ytterpanel vil samtidig veggen få god beskyttelse mot værets påvirkning.

Jordvegger kan også kles innvendig som vist på fig. 4. Dette gir tilleggsisolasjon samtidig som man får en tilfredsstillende overflate. Ved slik isolasjon får en til gjengjeld isolasjonen billigere.

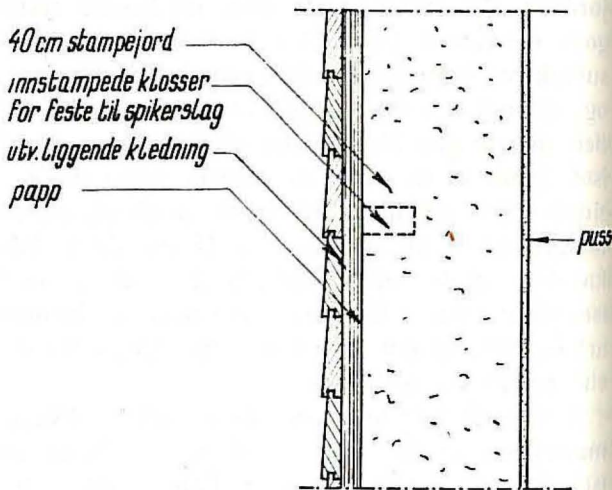


Fig. 3. Jordvegg med panel utvendig.

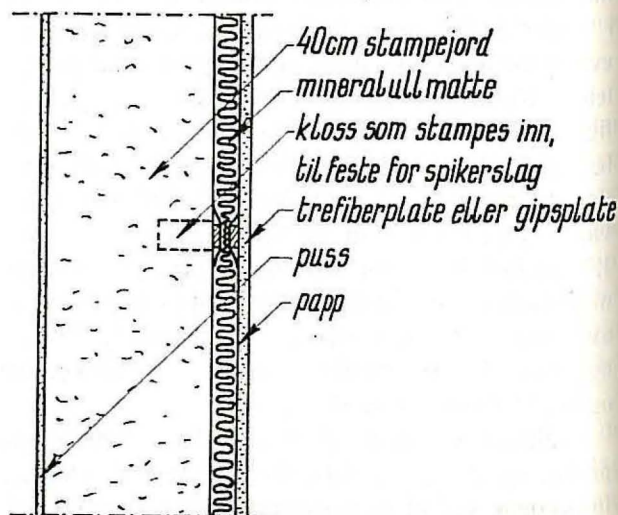


Fig. 4. Jordvegg med innvendig isolasjon.

### Leirblokker.

For lufttørkede leirblokker iblandet halm, og utført etter departementets forskrifter av 16. juni 1951, kan en regne med bedre varmeisolasjon enn for stampejord. Som ved stampejord må en også for leirblokker regne med stor spredning i varmeledningsegenskapene. Dels kan selve leiren være forskjellig og dels vil sikkert halminnholdet variere meget fra stein til stein selv om arbeidet er omhyggelig utført. Noe tallmateriale som viser spredningen i romvekt for leirblokker, er ikke tilgjengelig, men en må kunne regne noenlunde sikkert med at en 40 cm vegg av leirblokker i hvert fall aldri vil få en ugunstigere  $k$ -verdi enn 1,0, og at man i de fleste tilfelle vil ligge under 0,8 når veggene er tørt. Tilleggisolasjon skulle derfor ikke være påkrevd ved slike vegger.

### Varighet.

Det finnes flere eksempler på temmelig gamle og godt bevarte jordhus fra innlandsstrokene i Norge. Blant de mest kjente kan nevnes hovedbygningen på Skinnarbol ved Kongsvinger (halm-blandet leire støpt i forskalling), ca. 100 år gammel, og Frølichbebyggelsen ved Geitmyrsveien i Oslo (lufttørkede leirblokker med sagflistolsetning), ca. 75 år gammel. Fra nyere tid har vi bl. a. to lærerboliger ved Statens Småbrukslærerskole ved Sem i Asker (stampejord), henholdsvis ca. 30 og ca. 25 år gamle, og en lærerbolig ved Hedmark Fylkes Småbruks- og Hagebruksskole i Vang på Hedmark (stampejord), ca. 25 år gammel. Alle de nevnte husene er i bra stand, og vedlikeholdsutgiftene har vært rimelige. Fra andre land er det eksempler på jordhus som har holdt seg godt i århundrer.

På den annen side har vi også tallrike eksempler på meget dårlig varighet. Blant de best kjente eksempler på mislykket resultat er 15—20 stampejordsfjos som ble bygget i Snertingdalen nord for Gjøvik i 30-årene. Dette var selvsagt for vi fikk noen forskrifter for utførelsen. Fjosene er etter hvert blitt så dårlige at de fleste er revet ned og bygget opp igjen i andre materialer. Fig. 5 viser skadene på et av disse fjøsene. Veggene hadde store sprekker og avskallinger både utvendig og innvendig. Det dårlige resultat skyldes antakelig i dette tilfelle uegnet jordsammensetning eller at de ble stampet med for stort fuktighetsinnhold i jorden. Utilstrekkelig fundamentering kan også ha gjort sitt. Jordhus er meget omfintlig for setninger i fundamentene. Det er også flere eksempler på dårlig resultat fra nyere hus, bl. a. fra et byggeområde ved Høyenhall i Oslo hvor det oppsto stygge sprekker i veggene.

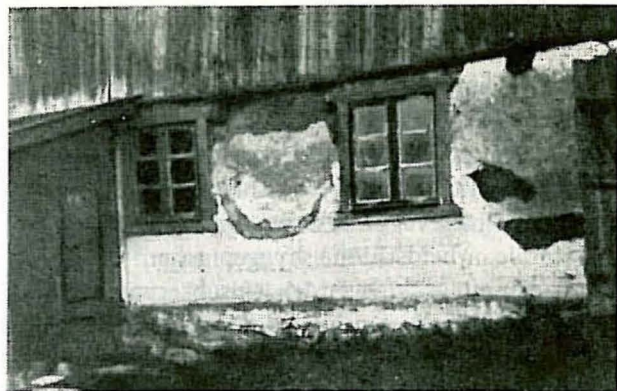


Fig. 5. Skader på fjøs i Snertingdal.

De viktigste faktorer som bestemmer varigheten er: jordens sammensetning, arbeidets utførelse og klimaet på stedet. Klimaet er en meget avgjørende faktor, og jordhus må regnes som lite skikket i strok med større nedbørmengde. Jordpartiklenes evne til å holde sammen er avhengig av at veggene holdes tørt. Væte trekker seg hurtig inn i jordveggen og overflaten skades lett av slagregn.

Puss fester ganske godt til jordvegger, men hvis pussene ikke er helt tett, løsner den lett. I den tidligere nevnte lærerbolig på Hedmark Fylkes Småbruksskole i Vang har vi et eksempel på at det er meget vanskelig å få pussene til å holde. På den mest utsatte vegg (ostveggen), har det i dette tilfelle vært nødvendig å skrape vekk jorden enkelte steder og mure  $\frac{1}{2}$ -steins mur under pussene.

Det er naturlig at pussene løsner hvis væten trenger igjennom fordi ustabilisert jord og leire alltid kan bløtes opp på ny selv om den er aldri så fast i tørr tilstand. En hører ofte at det er „bom” i pussene på jordvegger. Av denne grunn er det en fordel å bruke nettingarmering i pussene over hele ytterflaten hvis huset ligger litt utsatt for været. I kyststrokene kan en neppe regne med at puss blir tett nok. Hvis jordhus skal brukes på slike steder, bør de derfor kles utvendig på en eller annen betryggende måte.

I innlandsstrokene, hvor regnet stort sett faller vertikalt, vil godt utspringende tak og gesimser gi atskillig beskyttelse. De gamle jordhusbyggere har vært oppmerksom på dette og lagt takene godt utover på alle sider av huset.

I de tørreste innlandsstrokene, f. eks. på Hedemark vil jordhus enkelte steder kunne stå temmelig lenge endog uten puss. Stryking med steinkulltjære strødd med sand har vært brukt som blivende ytterbehandling. Dette binder jordpartiklene og har en stabiliserende virkning på ytterflatene. På bolighus vil imidlertid de fleste betrakte dette som en estetisk utilfredsstillende løsning.

## Arbeidstiden ved bygging av jordhus.

I jordhus er det normalt bare ytterveggene og eventuelt innvendige bærevegger som lages av jord. Bjelkelag, takverk osv. utføres på samme måte som ved hus av andre materialer. I småhus av vanlig standard utgjør arbeidstiden for yttervegger og bærevegger gjerne omkring 20 pst. av den totale arbeidstid på byggeplassen.

På grunnlag av en del tidsobservasjoner fra norske jordhus sammenholdt med utenlandske tidsangivelser har Kontoret for byggforskning kommet fram til følgende gjennomsnittlige timeforbruk pr. m<sup>2</sup> netto veggareal: <sup>1</sup>

	Enhetstid timer/m <sup>2</sup> netto
Maskinstamping .....	3,5
Håndstamping .....	5,5
Leirblokker, maskin .....	3,5
Leirblokker, hånd .....	5,5

For vegger av leirblokker er det regnet med at en mann for hånd lager 65—70 leirblokker pr. dag i det vanligste format 18×18×40 cm (25 blokker pr. m<sup>2</sup> vegg, 40 cm tykk). Framstilling av blokkene utgjør da ca. 3,0 timer/m<sup>2</sup>.

Ved maskinell framstilling av blokker er det regnet med en maskin som beskjeftiger 6—8 mann. Maskinen produserer 150—200 blokker pr. time eller ca. 200 blokker pr. mann pr. dag — og enhetstiden for dette blir ca. 1,0 time/m<sup>2</sup> netto veggflate.

For leirblokker er medtatt blanding av leirmassen, framstilling og lagring av blokker, framstilling av murmørtel og oppmuring av veggene.

I tidene for stampejordvegger inngår følgende arbeider:

Blanding av jordmasse, framstilling, montering og flytting av forskalling, fylling med jord i forskalling i 10—20 cm lag, stamping, tillegg for til-danning av dor- og vindusåpninger og utsparring for golvbjelker.

Utgraving av jordmassene fra kjellergrube med transport og evt. solding er ikke tatt med. Enhets-tiden for utgraving og 20—30 m transport kan settes til ca. 0,85 timer pr. m<sup>2</sup> veggflate.

Timeforbruket på byggeplassen er, foruten av konstruksjonsmåten, også en funksjon av husets form og størrelse, byggeplassens beliggenhet og byggeforetagets omfang, arbeidskreftene, årstid og værforhold. For jord- og leirhuser spiller det dess-uten en vesentlig rolle for forbruket av arbeidstid i hvor stor grad jorden eller leiren må behandles for å få den riktige blanding.

<sup>1</sup> Ved beregning av veggareal er brukt utvendige mål på gavveggene, innvendige mål på langveggene. Dor- og vindusåpninger er fratrukket.

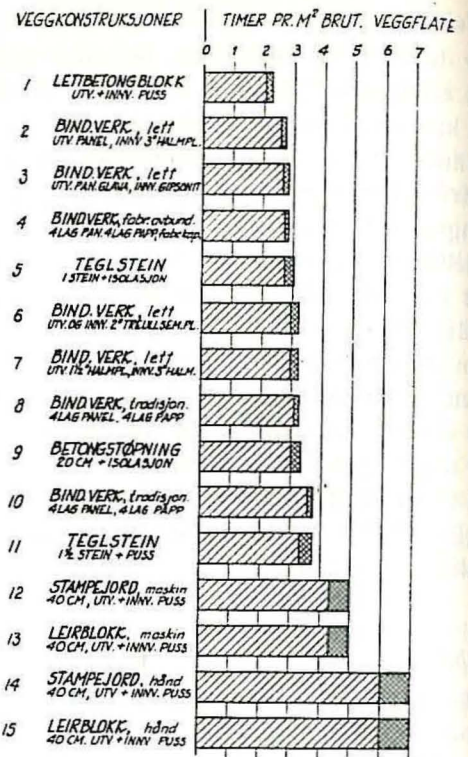


Fig. 6.

Husene i fig. 6 er bygd på følgende steder:

- Vegg 1. Oslo. En blokk med 16 leiligheter.  
 ,, 2. Oslo. En firemannsbolig. Bind.verk. 4"×4" og 4"×4". 120 cm. Kappsag på byggeplass.  
 ,, 3. Oslo. En tomannsbolig. Amerikansk bind.verk. tomret sammen i liggende stilling og gjort ferdig med utvendig glassvatt og kledning og siden reist i 6 seksjoner.  
 ,, 4. Sarpsborg. Fire tomannsboliger. Fabrikkbundet bind.verk (2"×4") og fabrikkappet panel.  
 ,, 5. Oslo og Bergen. Angitt i timer pr. 100 stein. Gj.snitt av et stort antall flerfamiliehus.  
 ,, 6. Skien. En enebolig. Bind.verk 2"×4" og 4"×4".  
 ,, 7. Skien. En tomannsbolig. Bind.verk 2"×4" og 4"×4".  
 ,, 8. Skien. En enebolig. Bind.verk 2"×4" og 4"×4".  
 ,, 9. Oslo og Trondheim. 3 blokker på tilsammen 80 leiligheter.  
 ,, 10. Sarpsborg. En tomannsbolig. Bind.verk 2"×4" og 4"×4".  
 ,, 11. Oslo og Bergen. Samme opplysning som vegg nr. 5.  
 ,, 12—15. Spredte opplysninger fra jordhusbyggingen i Norge og utlandet.

En slik sammenlikning som denne er meget vanskelig. De anførte arbeidstider for hver enkelt konstruksjon stammer således fra ett eller noen få bygg, og kan derfor neppe gjøre krav på å være representative. De sammenliknede vegger er heller ikke likeverdige m. h. t. varmegjennomgangstall, varmekapasitet, evne til å motstå væretts påvirkning osv.



SUMMARY OF  
"Jordhus"  
Earth Houses.

Of the four articles in this reprint, the first three are contributed by authors not associated with the Building Research Department. "Geotechnical Aspects of Utilizing Earth as a Building Material" is written by Messrs. O. Eide and L. Bjerrum of the Norwegian Geotechnical Institute. Mr. R. Selmer-Olsen, with the Geological Survey of Norway, writes on "Geographical Distribution of Earths Suitable for Earth Houses" with reference to Norway. Finally, the contribution of Mr. Ingolf Pettersen with the Housing Directorate is entitled "Experiences with Building Houses of Earth".

Messrs. Hans Granum and Jan Frydenlund, from the staff of the Building Research Department, title their article "Some Technical and Cost Features of Earth Houses".

Studies made in the Laboratory of Heat Engineering at the Technical University of Norway have shown that the following thermal conductivity may be assumed: for stamped earth with a unit weight of  $2.04 \text{ kg/dm}^3$ ,  $\lambda =$  approximately  $0.6 \text{ kcal/mC}^0\text{h}$ ; and for clay blocks with a unit weight of about  $1.7 \text{ kg/dm}^3$ ,  $\lambda =$  approximately  $0.4 \text{ kcal/mC}^0\text{h}$ . It is reasonable to assume that the coefficient of thermal conductivity for dry, stamped earth walls will lie in the range from  $0.35$  to  $0.6$ , and that  $\lambda = 0.6 \text{ kcal/mC}^0\text{h}$  can be regarded as a somewhat certain upper limit. The most unfavourable heat loss from a  $40 \text{ cm}$  wall of stamped earth, without finish, will then be about  $k = 1.15 \text{ kcal/m}^2\text{C}^0\text{h}$ . Variations of this within the range  $k =$  about  $0.75$  to  $1.15$  are to be expected. Additional insulation for such a wall is therefore economically justified. Earth walls with outside sheathing are shown in Fig. 3; with inside insulation in Fig. 4.

As in the case of stamped earth, a large variation in thermal conductivity must be assumed for clay blocks. Here the most unfavourable heat loss from a 40 cm wall will be  $k = 1.0 \text{ kcal/m}^2\text{C}^{\circ}\text{h}$ . If the wall is desiccated, the probability is that  $k$  will be less than  $0.8 \text{ kcal/m}^2\text{C}^{\circ}\text{h}$ . The life-span of stamped earth houses is discussed. The authors present examples of older, well-preserved houses of stamped earth from the interior in Norway. Contrariwise, there are many poor examples. Fig. 5 shows the deterioration of a stable. In conclusion, the authors consider the question of labour required to build a house of earth. For different wall constructions, the man-hours of labour required are tabulated in Fig. 6. Here No. 1 is lightweight concrete blocks; Nos. 12 and 13 stamped earth and clay blocks with machine aid; and Nos. 14 and 15 stamped earth and clay blocks with hand labour only. All are quoted in man-hours per square meter of total wall surface.

Særtrykk av Teknisk Ukeblad nr. 47, 1952

---

S. T. nr. 1185

AAS & WAHLS BOKTRYKKERI, OSLO