

Sivert Uvsløkk:

# Måling av k-verdier for hele veggmoduler

Norges byggforskningsinstitut 1986

Prosjektrapport 17

Sivert Uvsløkk:

# Måling av k-verdier for hele veggmoduler

Norges byggforskningsinstitutt 1986

Prosjektrapport 17:

Måling av k-verdier  
for hele veggmoduler

av Sivert Uvsløkk

UDK 692.2:536.24

ISBN 82-536-0247-2

OPPLAG: 300

NOR-TRYKK

ETB: NBI, Trondheimsavdelingen

Kirsten Husebye/Ruth Jensen/Oddveig Krabbsetsve/Guri Danielsen

© Norges byggforskningsinstitutt 1986

Adresser:

Byggforsk, Forskningsveien 3B, Postboks 322, Blindern, 0314 Oslo 3  
Trondheimsavdelingen, Høgskoleveien 7, 7034 Trondheim - NTH

## **Innhold**

<b>Forord</b>	5
<b>Bakgrunn og problemstillinger</b>	6
<b>Prosjektbeskrivelse</b>	11
<b>Gjennomføring</b>	13
<b>Metodebeskrivelse</b>	14
<b>Beskrivelse av veggfeltene</b>	17
<b>Materialdata for veggene</b>	21
<b>Resultater, kommentarer</b>	23
<b>Forslag til korrigeringsregler</b>	30
<b>Målinger med innlagte isoleringsfeil</b>	33
<b>Oppsummering og konklusjon</b>	34
<b>Referanser</b>	35
<b>Sammendrag</b>	36
<b>Diagrammer</b>	37
<b>Tabeller</b>	40
<b>Tegninger</b>	53
<b>Vedlegg</b>	71



## Forord

Prosjektet er gjennomført ved Norges byggforskningsinstitutt, Trondheimsavdelingen i samarbeid med 14 industribedrifter og organisasjoner.

Foranledningen var dels at NBI først på 80-tallet hadde bygd ferdig et nytt stort varmestrømsapparat, Hot-box 2, som gjorde det mulig å måle k-verdien for alle veggtyper i naturlig vegg høyde, dels at det var et behov for å kunne samordne de ulike beregnings- og målemetodene for å bestemme k-verdier.

Prosjektet ble startet i 1983 og ledet av siv.ing. Roy Scott Heiersted. Da han sluttet ved NBI i 1984, overtok siv.ing. Sivert Uvsløkk som prosjektleder. For øvrig har en rekke av medarbeiderne ved Trondheimsavdelingen deltatt ved gjennomføringen av prosjektet.

En foreløpig rapport med måleresultater m.m. ble sendt deltakerne i prosjektet i januar 1985.

I denne reviderte utgaven er det tatt hensyn til innkomne kommentarer fra deltakerne. Noen nye avsnitt er kommet i tillegg. Det er Metodebeskrivelse, Forslag til korrigeringsregler og Målinger med innlagte isoleringsfeil. Videre er avsnittene med kommentarer til resultatene og oppsummering og konklusjoner omarbeidet og utvidet.

Vi vil rette en takk til de deltakende bedriftene som har bidratt med faglig og økonomisk støtte til gjennomføringen av dette prosjektet. De har også bidratt til at NBI nå disponerer et velprøvd måleutstyr for fullskalaundersøkelse av varmetekniske egenskaper for vegger og andre konstruksjoner.

Prosjektet er også støttet økonomisk av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd.

Trondheim, august 1986

  
Jarle R. Herje

  
Sivert Uvsløkk

NB! Alle målte verdi er 3.5% for høye iflg. sidest 10.09.87,

## Bakgrunn og problemstillinger

For at byggeforskriftenes krav til bygningsdelers varmegjennomgangskoeffisient, k-verdien, skal være effektive, har det alltid vært en forutsetning at k-verdien skal kunne påvises ved beregning eller ved måling. For vanlige trevegger og andre enkle konstruksjoner er det tilstrekkelig å henvise til allerede utførte beregninger eller gjøre beregninger etter enkle metoder i NS 3031.

For mer sammensatte og komplekse konstruksjoner er det nødvendig å påvise k-verdien ved hjelp av EDB-programmer for flerdimensjonal varmestrøm eller ved måling.

Det økte behovet for å begrense varmetapet fra bygninger har ført til skjerpede forskriftskrav og utvikling av stadig nye konstruksjoner som er sammensatt av materialer med forskjellige varmetekniske egenskaper og på en slik måte at en ikke kan beregne k-verdien med tilfredsstillende sikkerhet etter enkle metoder. Dette har igjen ført til økt behov for målinger og EDB-beregninger. Vanligvis er hovedhensikten å påvise bygningsdelens k-verdi for sammenligning med krav i byggeforskriftene i forbindelse med godkjenning, markedsføring eller produktutvikling.

Undersøelse av bygningsdeler i varmestrømsapparat er aktuelt også i andre sammenhenger. Vi kan i stikkords form nevne overflatetemperaturfordeling for vurdering av kondensfare, varmekapasitetens innvirkning på varmetap og varmelagringssevne ved varierende temperaturforhold, varmetap på grunn av kuldebroer, varmetapets avhengighet av fuktinnhold, vindinntrengning, isoleringsfeil og aldring. En målt k-verdi uten sikkerhetspåslag er også av interesse ved nøyaktige varmetapsberegninger for bygninger, f.eks. i forbindelse med forskningsprosjekter og bygging av forsøkshus.

På denne bakgrunnen er det ved NBIs Trondheimsavdeling bygd et nytt, stort varmestrømsapparat (hot-box), hvor en kan måle vertikale veggelementer i full størrelse.

Med dette apparatet har en fått en reell mulighet til å måle representative k-verdier for de aller fleste vertikale bygningsdeler, uavhengig av deres kompleksitet.

Det har imidlertid vært et klart behov for et bredt erfaringsgrunnlag fra målinger og beregninger for alle de mest vanlige veggtypene, fra enkle trevegger til sammensatte, komplekse veggsystemer av metall. Et slikt erfaringsgrunnlag er en forutsetning for å kunne gjøre nødvendige korreksjoner av måleverdiene slik at alle konstruksjoner blir mest mulig likt behandlet ved sammenligning med forskriftenes k-verdikrav og uavhengig av om verdiene er funnet ved måling eller beregning.

Et slikt erfaringsmateriale ville også være av stor verdi i arbeidet med revidering av NS 3031.

### Fire hovedmetoder for påvisning av k-verdier

Både ved måling og beregning av k-verdier er det flere metoder å velge mellom. For oversiktens skyld kan vi dele disse inn i fire hovedgrupper:

- Beregning etter NS 3031, 2. utgave, øvre og nedre grenseverdi
- EDB-programmer for to- eller tredimensjonal varmemestrøm
- Måling ved hjelp av en eller flere varmemestrømsmålere. Metoden brukes både i laboratorium og felt
- Måling med varmemestrømsapparat, vanligvis kalt "hot-box". Her skiller en mellom skjermet og kalibrert varmemestrømsapparat. Metoden benyttes nesten utelukkende i laboratorier.

På grunn av flere forhold vil de forskjellige metodene gi noe varierende k-verdier selv for en og samme konstruksjon. Disse k-verdiene vil således også avvike mer eller mindre fra det en kan kalle bygningsdelens "virkelige k-verdi".

For **beregningenes** del skyldes avviket dels at inngangsverdiene for dimensjoner og varmekonduktivitet er forskjellige fra de virkelige, dels at en må gjøre forenklinger ved beskrivelsen av varmemestrømmen gjennom en konstruksjon.

Ved bruk av EDB-programmer for tredimensjonal varmemestrøm kan en ved å "dele opp" konstruksjonen i tilstrekkelig mange elementer i prinsippet beskrive varmemestrømmen med ønsket nøyaktighet. I praksis vil begrensningen ligge i at programmene bare kan regne med et forholdsvis begrenset antall oppdelinger i hver retning.

Ved alle **målemetodene** inngår det en rekke instrumenter og enkeltregistreringer, som alle forårsaker en viss feil eller usikkerhet for sluttresultatet, k-verdien. Videre vil en bare tilnærmedesvis ha full kontroll med temperatur-, varmemestrøm-, luftstrøm- og fuktforholdene under en måling.

Ved måling med varmemestrømsmålere vil en i tillegg få en usikkerhet fordi de har forholdsvis begrenset måleflate, vanligvis 0,4 m x 0,4 m eller mindre, slik at de bare tilnærmet kan dekke en representativ del av en sammensatt konstruksjon. Varmestrømsmålerne monteres direkte på overflaten av bygningsdelen og er derfor bare anvendelige for elementer med en forholdsvis jevn overflate, og som utgjør bare ett plan.

Det er i første rekke stort måleareal og minimal direkte kontakt med prøven som gjør et varmemestrømsapparat (hot-box) spesielt godt egnet for k-verdimålinger.

For vinduer og andre bygningsdeler med flerplans overflate er hot-box i praksis eneste alternativ for måling av k-verdi. Det gjelder også sammensatte vegger hvis en skal få med virkningen f.eks. av sviller og andre kuldebroer i utkanten av en bygningsdel.



Når og hvordan de forskjellige metodene benyttes  
En gjennomgang av forskjellige offentlige bestemmelser

Det er et klart behov for regler eller retningslinjer for når de forskjellige k-verdi-metodene kan benyttes og for en samordning mellom de forskjellige metodene. Det viser de mange k-verdimetodene og mulighetene for å få avvikende k-verdier som er omtalt foran.

Slike regler og retningslinjer er til en viss grad gitt i følgende forskrifter og standarder:

- Byggeforskriftene, kap. 54: Varmeisolering og tetthet
- Veiledning til byggeforskriftene, kap. 54
- Norsk Standard 3031, 2. utgave. Beregninger av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming
- Norsk Standard 3161, 1. utgave. Bestemmelse av varmemotstand ved hjelp av varmestrømsapparat

I byggeforskriftenes kap. 54, som angir krav til bygningsdelers varmeisolasjonsevne i form av høyeste tillatte k-verdier, står det i avsnitt 54:4 blant annet:

"Påvisning av k-verdier kan utføres ved beregning etter NS 3031, 2. utgave, eller ved måling etter anerkjent metode. Virkning av kuldebroer som følge av gjennombrutt isolering i de enkelte bygningsdeler skal medregnes."

Dette er noe utdypet i veiledningen til byggeforskriftene. Når det gjelder måling av k-verdier, siterer vi fra veiledningens avsnitt 54:4:

"Hvis k-verdi påvises ved måling i stedet for ved beregning, må målte verdier korrigeres med hensyn til kuldebroer, vanlig utførelse, klimaforhold m.v. Korrigeringen skal ta hensyn til de samme forhold som reglene for beregning etter NS 3031, 2. utgave."

I NS 3031 er det ikke angitt noen klare begrensninger for når standardens beregningsregler kan brukes eller ikke. Det er bare gitt en orienterende formulering i kap. 4.3, 4. avsnitt:

"For konstruksjoner der det er uklart om den øvre eller nedre grenseverdien ligger nærmest den virkelige verdien, og hvor forskjellen mellom dem er stor, bør varmemotstanden bestemmes på grunnlag av observasjoner eller spesielle beregningsregler."

NS 3031 angir for øvrig varmemotstander og varmekonduktiviteter,  $\lambda$ -verdier, som skal benyttes for de enkelte materialene ved beregningene. Disse beregningsverdiene er basert på målt varmekonduktivitet ved en middeltemperatur på  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; ( $\lambda_{10}$ ), pluss et visst sikkerhetspåslag.

For å forenkle k-verdiberegningene i små hus, står det videre i veiledningens kap. 54:51, siste avsnitt:

"Ved beregning av k-verdien for golv, vegg og tak i trehus med 48 mm tykke stendere og bjelker og senteravstand 600 mm, kan treandelen settes lik 10 % av golvets, veggens eller takets areal. Prefabrikerte elementer kan ha vesentlig større andel av tre. Dette må beregningene ta hensyn til."

I NS 3031, kap. 10.4, står det blant annet:

"Verdiene gjelder ved normalt fuktighetsinnhold og under forutsetning av at konstruksjonen blir utført hensiktsmessig ut fra et varmeteknisk synspunkt. Dette innebærer blant annet at det ikke oppstår luftstrømninger som nedsetter isoleringen i konstruksjonen. De angitte  $\lambda$ -verdier for isolasjonsmaterialer gjelder for materialer underkastet anerkjent kvalitetskontroll. Isolasjonsmaterialer ( $\lambda \leq 0.1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) som ikke er kvalitetskontrollert, gis et tillegg på 25 %."

I NS 3161 er det angitt to måter å måle og beregne sluttresultatet, k-verdien, på. Ved alternativ 1 skal en måle elementets varmemotstand, overflate til overflate, og legge til beregningsverdiene for innvendig og utvendig overgangsmotstand, som er gitt i NS 3031 ved utregning av k-verdien. Ved alternativ 2 måles den totale varmemotstanden fra luft til luft under forutsetning av at overgangsmotstandene ved målingen er de samme som beregningsverdiene angitt i NS 3031.

Hva innebærer så disse bestemmelsene i praksis når en skal bearbeide målte verdier for sammenligning med forskriftenes k-verdikrav?

#### Avklarte forhold

Etter vår vurdering er følgende punkter greie:

- Det skal tas hensyn til kuldebroer som naturlig hører med i f.eks. et ytterveggssystem; enten ved at at samlet måleareal utgjør et representativt utsnitt av veggsystemet eller ved at det beregnes et tillegg for kuldebroer som ikke dekkes av målearealet.
- Måleverdien skal korrigeres ved at en benytter samme verdier for innvendig og utvendig overgangsmotstand som angitt i NS 3031. For vegger er det henholdsvis 0.12 og 0.05  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ .
- For bygningsdeler med luftet kledning er det ikke sagt direkte hvordan en skal forholde seg ved måling og bearbeiding av resultatet. Varmemotstanden for en luftspalte og en kledning vil i praksis og ved laboratoriemåling variere mye med vindforholdene. Det er derfor etter vår vurdering nødvendig å korrigere målte verdier ved å benytte beregningsverdiene en får etter NS 3031, hvor det i kap. 6.3, tredje avsnitt står:

"For ventilerte hulrom bak fasadekledning og under taktro kan det regnes med halvparten av varmemotstanden i hulrommet og konstruksjonen utenfor."

- Ved bruk av  $\lambda$ -verdiene i NS 3031 forutsettes det at konstruksjonen er så lufttett på begge sider at det ikke oppstår luftstrømninger som nedsetter isoleringen i konstruksjonen. Økt varmetap på grunn av vanlig forekommende luftlekkasjer som følge av dårlige materialer, løsninger og utførelse når det gjelder utvendig og innvendig tettesjikt, er derfor ikke tenkt ivaretatt ved sikkerhetspåslagene i NS 3031.

### Uavklarte forhold

De nevnte bestemmelsene er derimot ikke like klare på andre punkter. Det er i første rekke spørsmålet om sikkerhetspåslag ved bearbeiding av målte k-verdier som trenger en nærmere avklaring.

- Ved måling i laboratorium vil materialene ha andre fuktinnhold og dermed andre  $\lambda$ -verdier enn det de har i praksis. Videre vil aldring av materialene kunne gi endrede  $\lambda$ -verdier. Det vil også være en viss spredning i  $\lambda$ -verdiene for de enkelte materialtypene slik at en ukorrigert måleverdi ikke uten videre kan brukes generelt uten en nødvendig korrigeringsfaktor.

For enkle konstruksjoner kan en forvente at det kan gjøres en tilnærmet riktig korrigeringsfaktor for dette slik at oppgitt k-verdi er i samsvar med  $\lambda$ -verdiene i NS 3031. En forutsetning er at en har oversikt over hvor store andeler av varmemestrømmen som går gjennom de forskjellige materialene i konstruksjonen. Videre må en ved egne målinger eller på annen måte kjenne  $\lambda$ -verdier og dimensjoner på materialene ved målingen.

For mer sammensatte konstruksjoner kan dette være langt vanskeligere, ettersom en da har mer utpreget flerdimensjonal varmemestrøm og dermed ikke nødvendig oversikt over hvor store andeler av varmemestrømmen som går gjennom de forskjellige materialene.

- I beregningsmodellene forutsettes det ideelle forhold, mens det i en virkelig konstruksjon vil være visse avvik fra det ideelle når det gjelder dimensjoner, form og plassering av de bærende delene og ved innmontering av isolasjonen. Også den økningen i varmetapet som dette innebærer, er tenkt ivarettatt ved de sikkerhetspåslagene som er innebygd i  $\lambda$ -verdiene i NS 3031.

Ved en laboratoriemåling har en vanligvis en konstruksjon som ligger et sted imellom det ideelle og det en kan forvente ved normal god utførelse i felten. En vil imidlertid ikke vite hvor stort avviket er fra normal god utførelse og hvor stort tillegg det bør gis for å korrigere for dette.

Reglene er upresise om når de forskjellige beregningsmetodene i NS 3031 kan benyttes og når k-verdien må påvises med nøyaktigere beregningsmetoder eller ved måling. Det er her åpnet for en betydelig grad av skjønn, noe som lett fører til varierende praksis ved påvising av k-verdier.

### Konklusjon

De forholdene som er omtalt foran, viser at det har vært et klart behov for å gjennomføre et eget prosjekt for å klargjøre sammenhengen mellom målte og beregnede k-verdier. Etter å ha drøftet dette også med aktuelle industribedrifter og organisasjoner, ble det enighet om i samarbeid å gjennomføre et prosjekt ved NBIs Trondheimsavdeling.

## Prosjektbeskrivelse

I 1983 ble det satt igang et forskningsprosjekt ved NBIs Trondheimsavdeling i samarbeid mellom NBI og 14 industribedrifter og organisasjoner. I alt 17 forskjellige veggkonstruksjoner ble undersøkt både ved målinger og beregninger.

### Mål

Viktige mål for prosjektet har vært

- å skaffe et bredt erfaringsgrunnlag når det gjelder sammenhengen mellom de forskjellige metodene for påvising av veggens k-verdier
- å etablere retningslinjer for bearbeiding av måleverdier slik at alle veggkonstruksjoner får en likeverdig behandling, mest mulig i overensstemmelse med beregningsregler og intensjoner i NS 3031 og i byggeforskriftene.

## Arbeidsprogram

Fra de første planene ble lagt fram for aktuelle deltakere og fram til gjennomføringen, er omfanget av prosjektet blitt noe redusert. Blant annet er 17 forskjellige vegger undersøkt, mens det opprinnelig var planlagt å undersøke 30. De viktigste arbeidsoppgavene som er utført i prosjektet er:

- Planlegging, tegning og bygging av prøveveggene. Ti av veggene er bygd ved NBI av NBIs folk, tre er bygd ved NBI av industrideltakerne, mens fire ble levert som ferdige elementer fra fabrikk.
- I alt 17 vegger er undersøkt i NBIs nye varmemestrømsapparat (Hot-box II), hvor blant annet følgende parametre er målt ved i alt tre forskjellige situasjoner pr. vegg:
  - Varmestrøm gjennom hele målearealet
  - Varmestrøm for et avgrenset parti, 0,5 m x 0,5 m, målt med varmemestrømsmåler
  - Overflatetemperaturer for forskjellige sjikt i veggene
  - Lufttemperaturer
  - Lufthastigheter
- For de fleste veggene er  $\lambda$ -verdien for prøver av isolasjonen målt i plateapparat ved en middeltemperatur på 10 °C ( $\lambda_{10}$ ). Videre er isolasjonens vekt og tykkelse i konstruksjonene målt.
- Fuktinnhold i treverk, betong og murverk ved målingene er søkt klarlagt gjennom gjentatt veiing av blindprøver lagret på samme sted og med tilnærmet samme uttørkingsmuligheter som de respektive veggene.
- $\lambda_{10}$ -verdien for treverk med forskjellig densitet og ved forskjellig fuktinnhold er undersøkt ved måling på to prøveplater av sammenlimt tre.

Ut fra disse målingene og fuktmålingene er sannsynlig  $\lambda$ -verdi for treverket i veggene ved k-verdi målingene beregnet.

- Det er utarbeidet en rekke EDB-programmer for overvåkning av målingene, og for innsamling og bearbeiding av måledata.
- Måleverdier uten korrigeringer og sikkerhetspåslag er rapportert sammen med tegninger og materialverdier (der disse forelå) i egne rapporter for hvert enkelt veggfelt.
- Det har vært gjennomført en viss videreutvikling av målemetode og utstyr i tilknytning til prosjektet.
- Det er utarbeidet et generelt EDB-program for k-verdi beregning etter NS 3031. Programmet gir samlet varmemotstand og k-verdi utregnet etter begge metoder i NS 3031 samt middelverdien for disse. Verdiene blir regnet ut både med lukket og med åpen luftspalte bak ytterkledningen.
- Ved hjelp av EDB-programmet er det gjennomført beregninger etter metodene i NS 3031 med to sett av inngangsverdier,  $\lambda_p$ -verdier fra NS 3031 sammen med nominelle dimensjoner, og med målte  $\lambda_{10}$ -verdier sammen med målte dimensjoner.
- For enkelte av veggene er det også utført beregninger med EDB-programmer for to-dimensjonal varmemestrøm.
- En sammenstilling og vurdering av resultatene fra de forskjellige metodene er presentert i denne samler rapporten sammen med en del konkrete forslag til regler for korrigering og fastlegging av sikkerhetspåslag for målte k-verdier.

#### Bedrifter og organisasjoner som har støttet prosjektet

I deltakerlisten nedenfor er det også angitt hvilke veggfelt de enkelte deltakerne har stått ansvarlig for. Deltakerne har bidratt med kr 10.000 hver pluss kr 9.000 pr. vegg de har hatt ansvaret for. I tillegg har bedriftene levert mye av materialene vederlagsfritt.

<u>Deltagere</u>	<u>Veggfelt</u>
Elkem-Rockwool A/S	1.7 og 1.8
Fjeldhammer Brug A/S	1.3
Glava A/S	1.5 og 1.6
Moelven Brug, Divisjon Yrkesbygg	2.1
Norcem Plater	(Ikke egen vegg)
Norges Betongindustriforbund	3.2 og 3.3
Norgips A/S	3.1
A/S Norsk Leca	4.1
Norsk Profilforming A/S	2.2 og 2.3
Norsk Treteknisk Institutt	(Ikke egen vegg)
Norsk Wallboard A/S	1.9
Plastindustriens Forskningskontor	1.4
I-tre A/S	1.10
Norges byggforskningsinstitutt	1.1 og 1.2

## Gjennomføring

Målingen av de enkelte veggene har bare delvis fulgt den opprinnelige planen når det gjelder måletidspunkt og rekkefølge. Blant annet på grunn av enkelte problemer med temperaturreguleringen og registreringsutstyret har målingene blitt forsinket. For den siste halvdel av målingene og senere har utstyret fungert godt.

Tabell 1 viser når de forskjellige veggene ble målt.

Tabell 1.

Oversikt som viser når de enkelte veggene ble målt

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Rekkefølge ved måling	Måleperiode
1.1	205	100 Glava-A plater tre	1	17.-25.10 -83
1.2	206	100 Rockwool-A tre	2	1.-7.11 -83
1.3	207	100 Rockwool-A, Vaflex tre	3	8.-14.11 -83
1.4	208	100+50 Rockwool-A +EPS tre	4	15.-28.11 -83
1.5	212	100+50 Glava-A matter tre	9	12.-20.1 -84
1.6	214	100+50 Glava-B matter tre	11	1.-9.2 -84
1.7	210	150 Rockwool-A tre	6	14.-21.12 -83
1.8	216	50+150 Rockwool-A tre	13	27.2-6.3 -84
1.9	215	100+100 Glava-A plater I-profil	12	9.-21.2 -84
1.10	218	150+150 Glava-A plater I-profil	15	16.-24.4 -84
2.1	213	145 Rockwool-A stål	10	20.-30.1 -84
2.2	211	150 Rockwool-A stål	7	21.-30.12 -83
"	"	med stålplateledning	8	29.12-3.1 -84
2.3	217	100+100 Rockwool-A stål	14	10.-16.4 -84
3.1	209	75 PUR Multielement	5	29.11-13.12 -83
3.2	221	120 EPS Betongelement	17	8.-14.5 -84
3.3	222	160 Rockwool Betongelement	18	15.-22.5 -84
4.1	220	50+200 PUR Leca Isoblokk mur	16	27.4-4.5 -84

## Metodebeskrivelse for NBIs Hot-Box 2 (varmestrømsapparat)

### Orientering

Målingene utføres etter Norsk Standard 3161 - Bestemmelse av varmemotstand ved hjelp av varmestrømsapparat - og det henvises derfor til NS 3161 for fullstendig metodebeskrivelse.

NS 3161 stemmer overens med Dansk Standard DS 1121 og Svensk Standard SS 024212.

I det følgende gis det en kort orientering om metoden, en beskrivelse av NBIs utstyr Hot-box 2, og skisser som viser plassering av faste målepunkter i hot-box'en og vanlig plassering av overflatetemperaturpunkter for en stendervegg med luftet kledning. Nummereringen stemmer overens med kanalnummerne i målerapporten.

### Bruksområde

NBIs Hot-box 2 er i første rekke tenkt brukt for å måle varmemotstand/k-verdi for alle typer veggelementer, vinduer og dører. Den er spesielt nyttig for konstruksjoner som det er vanskelig å beregne varmemotstanden/k-verdien for. Det kan være vinduer, dører og veggkonstruksjoner med kuldebroer.

Hot-box 2 kan også benyttes til å undersøke overflatetemperaturfordelingen på konstruksjoner for å kunne vurdere faren for kondens ved forskjellige inneklima.

### Måleprinsipp - skjermet hot-box (guarded hot-box)

Konstruksjon og sjablon utgjør et skille mellom kaldtrommet og varmtrommet, se fig. 1. I kaldtrommet sørger et fryseanlegg for at temperaturen hele tiden er som ønsket, vanligvis  $-5^{\circ}\text{C}$ , men med mulighet for kulde ned mot  $-30^{\circ}\text{C}$ . Ved hjelp av varmeelement, vifte og regulator tilføres det varme til målekammeret slik at temperaturen holdes konstant på ønsket nivå, vanligvis  $+25^{\circ}\text{C}$ . Samtidig holdes temperaturen på samme nivå i rommet rundt målekammeret, varmtrommet, slik at varmestrømmen gjennom målekammerets fem vegger er tilnærmet lik 0. Når dette har stabilisert seg, er tilført varme til målekammeret lik varmen som strømmer ut gjennom konstruksjonen. Den tilførte varmen (effekten) måles sammen med luft- og overflatetemperaturer. På dette grunnlaget beregnes så varmemotstand og k-verdi for konstruksjonen.

I praksis vil det imidlertid også være en liten varmestrøm gjennom målekammerveggene. Denne varmestrømmen registreres ved hjelp av en såkalt termosøyle slik at nødvendige korrigeringer kan gjøres.

### Prøvestørrelse

Som det framgår av fig. 1, kan en undersøke konstruksjoner på opp til  $3,2\text{ m} \times 3,8\text{ m}$  når hot-box'en brukes som kalibrert hot-box.

Vanligvis brukes den som skjermet (guarded) hot-box, og målearealet er da  $2,45\text{ m} \times 2,45\text{ m}$ . En kan også undersøke mindre konstruksjoner ved å montere dem i en sjablon (ramme). Den delen av varmestrømmen som går gjennom sjablonen, bestemmes ved beregning eller kalibrering, slik at måleverdien kan korrigeres.

## Prøving

Oppstilling ved målingen er vist i fig. 1, snitt A-A.

Konstruksjonen som skal undersøkes, monteres i en sjablon. Eventuelle åpninger rundt konstruksjonen fylles med polystyren, og skjøtene tettes ved hjelp av tape. Termoelementer for måling av overflatetemperaturer festes med tape eller lim til konstruksjonen, vanligvis 20 på hver side, før sjablonen heises på plass.

Kaldtrom og varmtrom klemmes tett til sjablonen ved hjelp av seks skruer.

Målekammeret klemmes til konstruksjonen/sjablonen ved hjelp av justerbare stropper ved de fire hjørnene slik at O-listen tetter godt. O-listen har en diameter på 40 mm og et innvendig overtrykk og kan derfor ta opp ujevnheter i overflaten på konstruksjonen.

Tilført effekt og temperaturer fra i alt 96 kopper-konstantan termoelementer registreres hver time ved hjelp av en datalogger. Måleverdiene lagres på en tape. Ved hjelp av en liten datamaskin (PC) som oppdaterer og tegner kurven for et utvalg av målepunkter, kan en enkelt kontrollere hvordan varmetilførsel og temperaturer har variert de siste tre døgn, og på det grunnlaget avgjøre om en måling er ferdig, samt angi en stabil måleperiode. Vanligvis legges en stabil måleperiode på ti timer til grunn ved den videre databearbeidingen og utregningen av varmemotstand og k-verdi. Dette gjøres ved hjelp av egne dataprogrammer på instituttets sentrale dataanlegg.

## Utstyr

Regulator kaldtrom	Danfors, type EPT 60
Regulator varmtrom	PID regulator (Proportional Interval Difference) Type Goerz Metrawatt GTR 220
Regulator målekammer	PID regulator Type Goerz Metrawatt GTR 220
Termoelementer	Kopper-konstantan
O-pkt. referanse	Mecron, type Zeref
Datalogger	3530 ORION Data Logging System
Mikrodatamaskin	ABC 80
Kassettspiller	Facit
Sentralt dataanlegg	HP 1000

## Målenøyaktighet

Temperaturmålesystemet ansees for å ha en nøyaktighet bedre enn  $\pm 0,1$  °C.

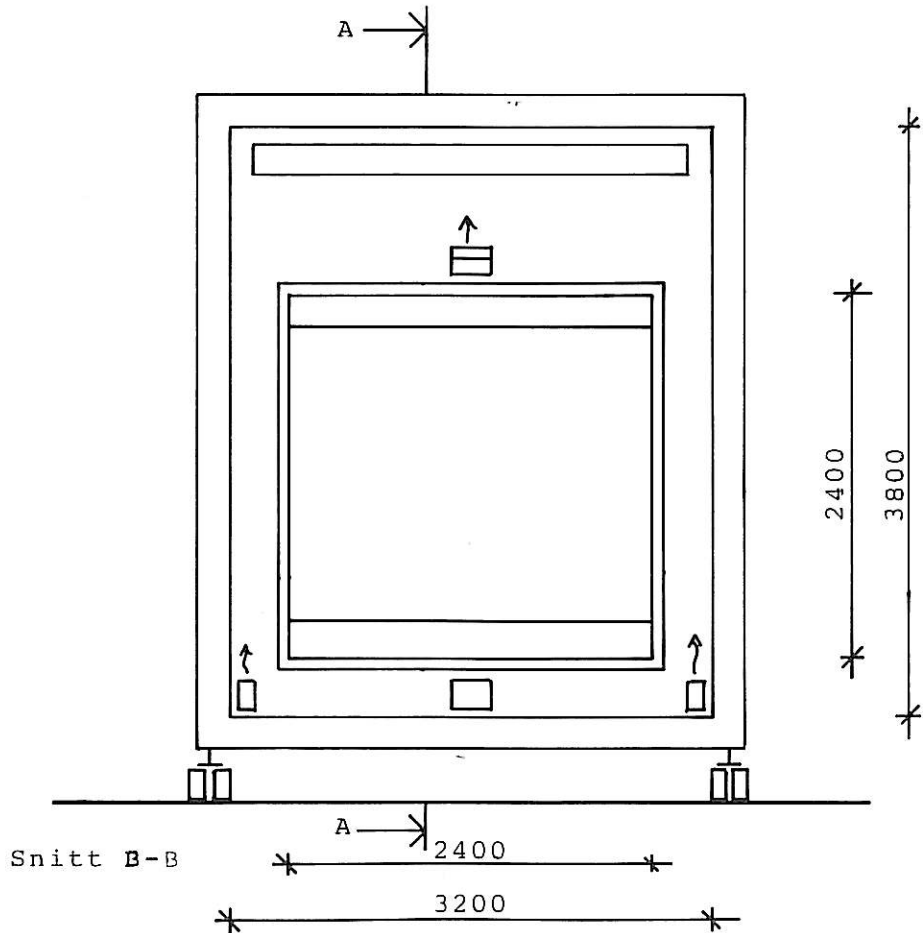
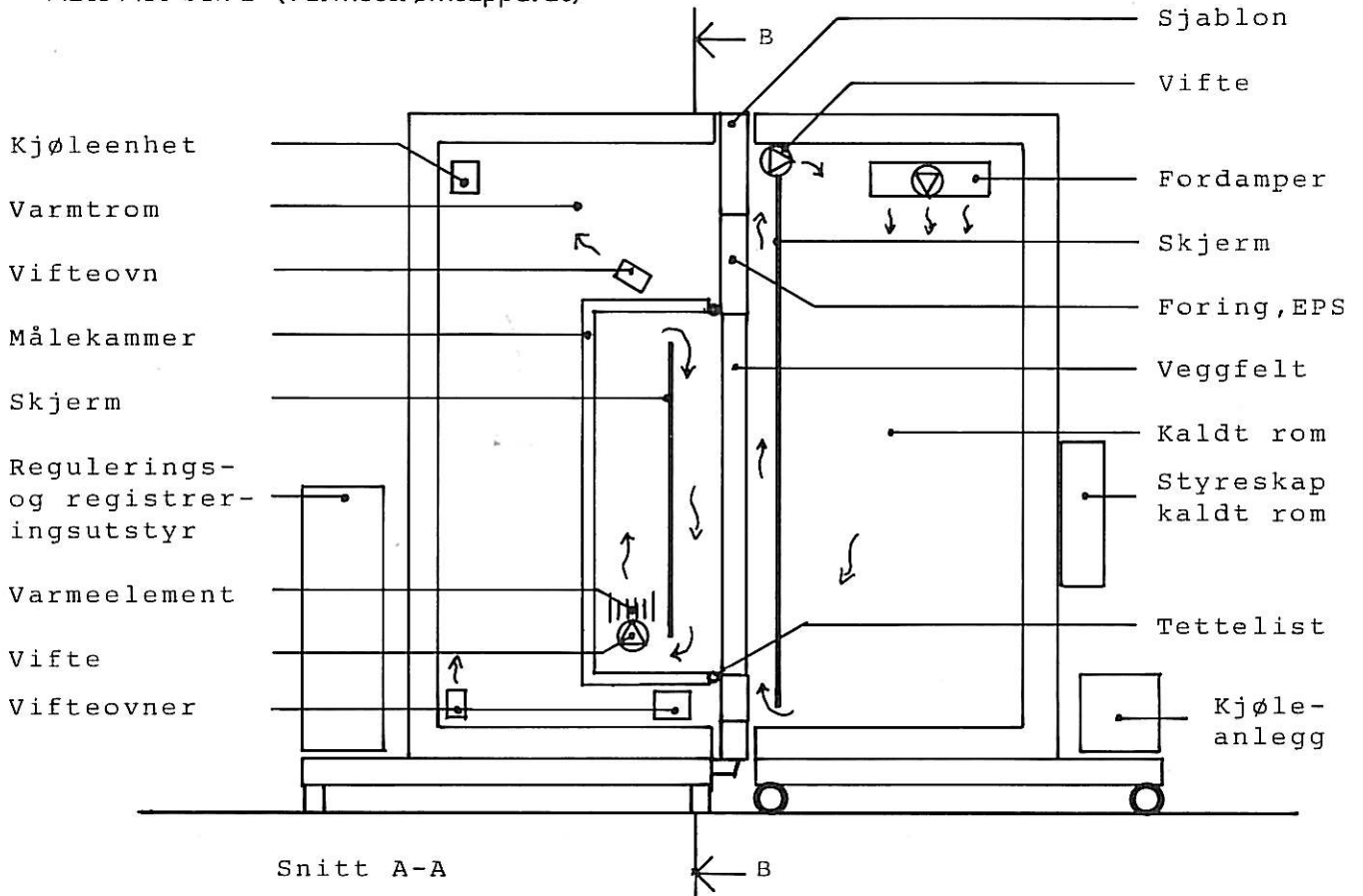
Ved en sammenligning mellom seks tilfeldig valgte termoelementer og et presisjons kvikksølvtermometer i et oljebad, var avviket mindre eller lik 0.03 °C både ved +20 °C og ved -17 °C. Termometrene ble avlest ved hjelp av Hot-box'ens registreringsutstyr slik at avvikene gjelder for den komplette temperaturregistreringen (november 1984).

Anslått nøyaktighet for det endelige måleresultatet, varmemotstand og k-verdi anslås til å være bedre enn  $\pm 5$  %.

Dette er basert dels på kalibreringsmålinger på en homogen polystyrenvegg og dels på sammenligning mellom målt og beregnet k-verdi for en rekke vanlige stendervegger.



Figur 1.  
NBIs Hot-box 2 (Varmestrømsapparat)



### Plassering av overflatetemperaturpunkter

Vedleggene 1-4 viser vanlig plassering av termoelementer for måling av overflatetemperaturer på noen typer prøvevegger. For hver side måles det tyve overflate-temperaturer. Ti av termoelementene er enkle (oddtall) mens ti består av to parallellkoblede elementer (partall). De siste gir en middeltemperatur for to punkter.

Nummereringen stemmer overens med nummereringen i prøverapportene.

Vedlegg 1 a	Temperaturpunkter, vegg av bindingsverk, varm side
Vedlegg 1 b	Temperaturpunkter, vegg av bindingsverk, utvendig vindsperre
Vedlegg 1 c	Temperaturpunkter, vegg av bindingsverk, utvendig kledning
Vedlegg 2 a	Temperaturpunkter, betongelement, varm side
Vedlegg 2 b	Temperaturpunkter, betongelement, kald side
Vedlegg 3 a	Temperaturpunkter, betongelement, varm side
Vedlegg 3 b	Temperaturpunkter, betongelement, kald side
Vedlegg 4 a	Temperaturpunkter, murvegg, varm side
Vedlegg 4 b	Temperaturpunkter, murvegg, kald side

### Beskrivelse av veggfeltene

De 17 veggene kan deles i fire grupper etter bærende materiale og konstruksjon. Veggene har to nummer - et systematisk og et målenummer som angir målerekkefølgen. 2-tallet angir at veggene er målt i NBIs varmestrømsapparat nr. 2 (Hot-box 2). I det følgende er det gitt en beskrivelse av de enkelte gruppene og det som er spesielt for hver vegg. Det er også angitt hvilket firma eller organisasjon som har vært "ansvarlig" for de enkelte veggene. Det henvises for øvrig til tegninger av veggene som viser oppbygging i detalj.

Materialdata som fuktinnhold, densitet og  $\lambda$ -verdier er gitt i Tabell 2.

Alle veggene hadde en høyde på 2,4 m inklusive sviller, og en bredde på mellom 2,98 og 3,05 m. Målearealet var for alle veggene 2,45 m x 2,45 m, som utgjør 6,00 m<sup>2</sup>.

Veggene hadde isolasjonstykkelser fra 50 til 300 mm, og total veggtykkelse inklusive panel på fra 142 til 367 mm.

#### Vegg-gruppe 1

De 10 veggene i gruppe 1, med systematiske nummer fra 1.1 til 1.10, har det til felles at de har bindingsverk av massivt tre eller av I-profiler av tre og trebaserte materialer. Alle treveggene ble bygd ved NBI av NBIs egne folk. Til stender og sviller ble det benyttet justert trelast med avrundete hjørner. For alle veggene var stenderne montert med normal senteravstand, 600 mm, med unntak av noen vegger der de ytterste stenderne måtte trekkes litt inn på grunn av litt for liten åpning i en av sjablonene. Disse stenderne inngikk ikke i målearealet, og dette har derfor ikke hatt noen innvirkning på måleresultatet. For veggene med stender av massivt tre ble disse felt litt inn i svillene for at stenderne ikke skulle vri seg ut av stilling på grunn av endring i fuktinnholdet. Det var ikke losholter i noen av veggene. Alle treveggene hadde 13 mm tykke gipsplater innvendig og 0,15 mm tykk polyetylenfolie uten skjøter til dampsperre.

For å holde antall variable på et minimum, ble det bestemt å ha samme type ytterkledning og vindsperre for de veggene hvor det var mulig. For alle treveggene, unntatt to, ble det brukt 23 mm x 48 mm stående utlekting og 19 mm tykk dobbeltfaset liggende trekledning. Kledningen gikk ca. 0,20 m forbi svillene for at en skulle få mest mulig korrekte strømningsforhold.

For alle treveggene unntatt to, ble det brukt 12 mm tykke asfaltbelagte trefiberplater, Asfalt vindtett, som vindsperre.

Alle treveggene var isolert med mineralull unntatt en som hadde 50 mm ekspandert polystyren som kombinert tilleggsisolasjon og vindsperre utvendig. Det ble brukt mineralull med vanlige bredder, 560 mm ved stendertykkelse 45 - 48 mm og 570 mm ved stendertykkelse 36 mm.

I lengderetningen og der senteravstanden måtte være forskjellig fra 600 mm, som f.eks. ved liggende utforing, ble mineralullen skåret til med sirkelsag.

Isolasjonen ble montert omhyggelig og så nøyaktig som det lot seg gjøre.

Det er her oppgitt nominelle dimensjoner. Målte dimensjoner er angitt på tegningene.

#### **Vegg 1.1, 205, NBI**

Vanlig bindingsverk av massivt tre med tverrsnittsmål 48 mm x 98 mm.  
Mineralull, Glava-A plater, 100 mm x 560 mm x 1200 mm.

#### **Vegg 1.2, 206, NBI**

Vanlig bindingsverk av massivt tre med tverrsnittsmål 48 mm x 98 mm.  
Mineralull, Rockwool-A plater, 100 mm x 560 mm x 1200 mm.

#### **Vegg 1.3, 207, Fjeldhammer Brug A/S**

Identisk med 1.2, men med Vaflex forhudningspapp som vindsperre i stedet for Asfalt Vindtett.

#### **Vegg 1.4, 208, Norsk Plastforening**

Identisk med 1.2, men med ekspandert polystyren som kombinert tilleggsisolering og vindsperre i stedet for Asfalt Vindtett, Sundolitt plater 50 mm x 1200 mm x 2400 mm.

#### **Vegg 1.5, 212, Glava A/S**

Bindingsverk av massivt tre med krysslått utvendig utforing. Tverrsnittsmål 48 mm x 98 mm og 48 mm x 48 mm. Asfalt Vindtett platene ble lagt slik at det bare ble en vertikal plateskjøt i målearealet. Skjøten var understøttet av kubbing med tverrsnittsmål 48 mm x 48 mm. Mineralull, Glava A-matter 100 mm x 560 mm x 4800 mm og 50 mm x 560 mm x 9600 mm. Isolasjonen i den utforede delen ble tilskåret med sirkelsag etter som senteravstanden der måtte bli mindre enn 600 mm.

**Vegg 1.6, 214, Glava A/S**

Identisk med 1.5, men med Glava-B matter i stedet for A-matter. Både utvendige og innvendige plater ble tatt av ved skiftingen av isolasjon, slik at den ble lagt inn fra normal side i begge tilfeller.

**Vegg 1.7, 210, Elkem-Rockwool A/S**

Bindingsverk av massivt tre med tverrsnittsmål 36 mm x 148 mm.  
Mineralull Rockwool A plater, 150 mm x 570 mm x 1200 mm.

**Vegg 1.8, 216, Elkem Rockwool A/S**

Bindingsverk av massivt tre med inntrukket dampsperre og krysslågt "utforing" innvendig. Tverrsnittsmål 36 mm x 148 mm og 48 mm x 48 mm. Gipsplatene ble lagt slik at det ble en vertikal plateskjøt i målearealet. Skjøten var forskjøvet til midt mellom to stendere og understøttet av kubbing med tverrsnittsmål 48 mm x 48 mm.

Mineralull, Rockwool-A plater, 50 mm x 560 mm x 1200 mm og 150 mm x 570 mm x 1200 mm. Isolasjonen i den utforede delen ble tilskåret med sirkelsag etter som senteravstanden der måtte bli mindre enn 600 mm.

**Vegg 1.9, 215, Norsk Wallboard A/S**

Bindingsverk av I-profiler, Masonite. Stenderne, med ytre tverrsnittsmål 45 mm x 200 mm, hadde flenser av massivt tre, 45 mm x 45 mm, og steg av hard trefiberplate med tykkelse 6 mm. Svillene hadde et noe annet tverrsnitt, se tegning (s. 61). Mineralull, Glava-A plater, to lag 100 mm x 560 mm x 1200 mm. Stenderne og svillene ble isolert med spesielle Glava I-profilstrimler.

**Vegg 1.10, 218, I-Tre A/S**

Bindingsverk av I-profiler, I-Tre. Stendere og sviller hadde samme tverrsnitt med ytre mål 45 mm x 300 mm. Profilene hadde flenser av massivt tre, 45 mm x 45 mm, og steg av sponplate med tykkelse 10 mm. Mineralull, Glava A-plater, to lag, 150 mm x 560 mm x 1200 mm. Stenderne og svillene ble isolert med spesielle Glava I-profilstrimler.

Vegg-gruppe 2

Det karakteristiske med de tre veggene i denne gruppen er at de har bindingsverk av tynnplateprofiler av stål. Også disse har hel dampsperre av 0,15 mm polyetylenfolie og 13 mm tykke gipsplater på varm side av isolasjonen. To av veggene hadde vindsperrer av 9 mm tykke gipsplater, mens én hadde en spesiell type brannherdige sponplater, Securit. Alle tre veggene ble målt med samme type utlekting og liggende trekledning som treveggene for å begrense antall variable. En av veggene ble imidlertid også målt med stålplatekledning utvendig.

**Vegg 2.1, 213, Moelven Brug A/S**

Bindingsverk av tynnplateprofiler av stål, 1,0 mm, med 3 + 3 slisserader i steget. Ytre tverrsnittsmål var 40 mm x 145 mm.

Mineralull, Rockwool-A plater, 150 mm x 560 mm x 1200 mm. Stenderprofilene var isolert med tilskårne striper av Rockwool A. Veggens inklusive utvendig gipsplate og innvendig Securit-plate var bygd i Moelvfabrikken og kom til NBI som et vanlig veggelement. Utlekking og montering av utvendig kledning ble utført av NBI.

### **Vegg 2.2, 211, Norsk Profilforming A/S**

Som 2.1, men med et noe annet profiltverrsnitt av 1,0 mm tykke stålplater og med 4 + 4 slisserader. Ytre tverrsnitt var 40 - 46 mm x 150 mm. Det ble montert inn endeavstivere med normalt tverrsnittsareal, men med unormal form i begge ender av stenderne. Veggens hadde vindspærre av 9 mm tykke gipsplater. Mineralull, Rockwool A plater, 150 mm x 560 mm x 1200 mm.

Veggens ble bygd ved NBI av en representant fra Norsk Profilforming A/S. Utlekking og montering av utvendig kledning ble utført av NBI.

Denne veggens ble målt både med utlekket, liggende trepanel og med utlekket kledning av stående trapeskorrugerte stålplater. Utlekkingen besto av tre liggende Z-profiler av 1 mm tykk stålplate. En ble montert midt på veggens, mens de andre ble montert ca. 200 mm fra svillene.

### **Vegg 2.3, 217, Norsk Profilforming A/S**

Bindingsverk av tynnplateprofiler av stål, 0,7 mm, med 4 + 4 slisserader. Ytre tverrsnitt var 40 - 46 mm x 200 mm. Isolering, Rockwool-A plater, to lag 100 mm x 560 mm x 1200 mm. For øvrig som vegg 2.2. Denne veggens ble bare undersøkt med vanlig liggende trekledning.

### Vegg-gruppe 3

De tre veggens i denne gruppen var av "sandwich"-typen og ble levert som ferdige veggelementer fra fabrikk.

#### **Vegg 3.1, 209, Norgips A/S**

Multielement L 100. Veggelementet hadde 13 mm gipsplater både innvendig og utvendig. Det var innlagt sviller av tre med tverrsnitt 48 mm x 75 mm og stendere med tverrsnitt 48 mm x 48 mm og senteravstand 600 mm, ved den utvendige gipsplaten. I toppen var det også innlagt en forsterkning i form av to 250 mm høye og 9 mm tykke finérdragere, en på hver side av toppsvillen. Hulrommet mellom gipsplatene var isolert med innsprøytet to-komponent polyuretanskum. Veggens ble påmontert vanlig utlekket, liggende trepanel av NBI.

#### **Vegg 3.2, 221, Norsk Betongforening**

Bærende, liggende element av betong. Elementet besto av en 50 mm tykk innvendig skive og en 70 mm tykk utvendig skive av armert betong. Skivene var forbundet med hverandre med bindere og av fire stablepunkter med gjennomgående betong, tverrsnitt 230 mm x 300 mm, to oppe og to nede. Elementet var av standard oppbygging, men noe høyere og smalere enn dem som brukes i praksis. Målene på stablepunktene var justert slik at arealandelen av gjennomgående betong var normal. Elementet hadde glatt overflate innvendig og frilagt singel utvendig.

Mellom betongskivene var det lagt inn isolasjon, ekspandert polystyren, 120 mm tykke plater av ISOPOR (20 kg/m<sup>3</sup>). Elementet ble dimensjonert og levert av Nordenfjeldske Spennbetong A/S, Trondheim.

### **Vegg 3.3, 222, Norsk Betongforening**

Bærende, liggende element av betong. Elementet besto av en 50 mm tykk innvendig skive og en 70 mm tykk utvendig skive av armert betong. Skivene var forbundet med hverandre med bindere. Den innvendige skiven var forsterket av fire armerte ribber, oppe, nede og to vertikale. Se tegning (s. 69). Også for disse elementene var målene på forsterkningene justert slik at betongandelen skulle være noenlunde normal. Elementet var isolert med mineralull Rockwool plater med 160 mm x 33 mm tykkelse og romvekt 80 kg/m<sup>3</sup>.

Elementet ble dimensjonert og levert av Nordenfjeldske Spennbetong A/S i Trondheim.

### Vegg-gruppe 4

Denne gruppen omfattet opprinnelig tre murfelt, som til slutt ble innskrenket til ett.

### **Vegg 4.1, 220, Norsk Leca**

Veggen er murt opp av to blokktyper - en hovedblokk som består av en indre 100 mm tykk vange og en ytre 100 mm tykk vange av lettklinkerbetong. Vangene er forbundet med hverandre av et 50 mm tykt lag av innsprøytet polyuretan, som også utgjør isoleringen.

Øverste skift består av såkalte U-blokker. Nedre del av disse har gjennomgående lettklinkerbetong, mens det i øvre del er innsatt en 50 mm tykk plate av polyuretan-skum. I en langsgående utsparring i toppen ble det istøpt Leca lettbetong. Ved muringen og som utvendig og innvendig puss ble det benyttet TICON lett mørtel som har perlite som tilslag. I de horisontale fugene ble det lagt to adskilte mørtelstrenger, mens det ikke var mørtel i stussfugene. (Se for øvrig tegning s. 70.)

Veggen ble murt opp ved NBI av en person fra Leca A/S.

### **Materialdata for veggene**

I tabellene 4a og 4b (s. 43-44) er de viktigste materialverdiene for veggene satt opp.

### Tabell 4a - Nominelle verdier

Tabell 4a inneholder nominelle tykkelser og  $\lambda$ -verdier fra NS 3031, 2. utg. Densitet for isolasjonen er basert på veiing av den aktuelle isolasjonen og de nominelle tykkelsene i tabellen, mens densitet og fuktinnhold for bærematerialene er generelle verdier fra NS 3031, 2. utg. Arealandelene av bærematerialene i isolasjonssjiktet er regnet ut etter nominelle mål, se tegningene (s. 53-70). Disse verdiene er brukt ved beregningene etter NS 3031.

#### Tabell 4b - Målte verdier

Tabell 4b inneholder målte dimensjoner slik materialene var når veggene ble målt i varmestrømsapparatet.  $\lambda$ -verdiene for isolasjonen er basert på målinger av to-tre prøver av samme parti isolasjon som den som ble brukt i de enkelte veggene. Verdiene er korrigert slik at de er mest mulig riktige for den densiteten isolasjonen hadde i veggene ved måling. Denne densiteten er basert på veiing av all isolasjon i feltet og på målt tykkelse av veggens hulrom.

For veggene i gruppe 3, som var fabrikkfremstilte elementer, har vi ikke gjort egne  $\lambda$ -verdimålinger. De oppgitte verdiene som er merket med ', er antakelser basert på andre tidligere utførte målinger av samme type materialer.

For trematerialene er de oppgitte densitetene dels basert på veiinger for hver vegg, dels middelerverdier for trelasten, etter som densiteten for de enkelte plankene viste seg å variere lite. For de andre bærematerialene har vi ikke målt densitet, men antatt samme verdier som oppgitt i NS 3031 eller i brosjyrer.

Fukttinnhold i bærematerialene er tilnærmede verdier basert på løpende registrering av fukttinnholdet i blindprøver som var lagret på samme sted og med tilnærmet samme uttørkingsmulighet som materialene i veggfeltene. To løse stendere fungerte som blindprøver for veggene med bindingsverk av tre, mens det var laget spesielle blindprøver for betongveggene 3.2 og 3.3 og for murveggen 4.1. Relativ luft-fuktighet i rommet varierte mellom 40 og 50 % RF i oktober/november 1983 og mellom 40 og 30 i desember 1983 til februar 1984, med et gjennomsnitt på 40 %. Temperaturen lå på mellom 22 og 15 °C med et gjennomsnitt på 19 °C.

$\lambda$ -verdiene for treverk er beregnet ut fra måleverdier for to treplater med forskjellig densitet og ved forskjellige fukttinnhold. Det er tatt hensyn til densitet og antatt fukttinnhold for de enkelte veggene.

Arealandeler av bærematerialene i isolasjonssjiktene er beregnet ut fra målte dimensjoner fra de enkelte veggene.

Det er også utført beregninger for veggene med verdiene i tabell 4b, hvor det ikke er innebygd noen sikkerhetspåslag.

## Resultater, kommentarer

De viktigste måleverdiene, materialverdiene, og beregningsverdiene for de enkelte veggene er satt opp i tabeller. Det er også satt opp tabeller og diagrammer hvor målte, korrigerede totale varmemotstander og k-verdier er sammenlignet med beregnede verdier.

I det følgende gis det noen kommentarer til resultatene.

### Innvendig og utvendig varmeovergangsmotstand, Tabell 2a, 2b og 2c

Som det framgår av kapitlet **Bakgrunn og problemstillinger**, skal en ifølge gjeldende regler om nødvendig korrigere målte k-verdier slik at de er i samsvar med overgangsmotstandene i NS 3031.

Ved måling av k-verdier i hot-box kan en ved hjelp av vifter variere lufthastigheten både på varm og kald side av prøveveggen. En påtvungen luftstrøm er ønskelig, dels for å få ønskede varmeovergangstall, dels for å hindre temperaturskiktning i målekammer, varmtrom og kaldtrom. Det er imidlertid bare til en viss grad mulig å få samme varmeovergangsmotstander som de som benyttes ved k-verdiberegninger etter NS 3031.

Selv om en har samme innstilling av vifter og temperaturer, vil varmeovergangsmotstandene variere litt fra måling til måling. Se tabell 2a, b og c. (Side 39-41.)

For de 14 veggene med trekledning er middelverdiene for innvendig og utvendig varmeovergangsmotstand satt opp i tabellen nedenfor på denne siden sammen med verdier fra NS 3031.

Det er kun målingene med lukket luftspalte som er lagt til grunn her. Lufttemperaturen på henholdsvis varm og kald side var +25 °C og -5 °C.

Under alle målingene var det en påtvungen nedadrettet luftstrøm med en hastighet på 0.1-0.2 m/s på varm side og en påtvunget oppadrettet luftstrøm med en hastighet på 2-3 m/s på kald side av prøveveggen.

	Innvendig varmeovergangsmotstand	Utvendig varmeovergangsmotstand	Sum
Målt	0.086	0.034	0.12
Fra NS 3031	0.12	0.05	0.17

Som denne tabellen viser var overgangsmotstandene noe lavere ved våre målinger enn de som benyttes ved beregning av k-verdier etter NS 3031.

For vanlige, isolerte vegger vil dette avviket ha liten betydning for k-verdien. For en vegg med k-verdi 0.35 utgjør det f.eks. 2 %.

I tabellene 6a og 6b (s. 47-48) er de målte k-verdiene korrigert etter gjeldende regler ved at overgangsmotstandene fra NS 3031 er benyttet.



### Utvendig kledning, Tabell 2a, 2b og 2c.

For en vegg med utvendig, utlektet kledning vil kledningen og luftspaltens bidrag til samlet varmemotstand variere både med størrelsen og utformingen på åpningene nede og oppe og med værforholdene.

Ved beregning etter NS 3031 er dette forenklet til to alternativer knyttet til konstruksjon. Ved "ikke ventilert kledning" skal luftspalten og kledningen regnes med full motstandsverdi, mens verdiene skal halveres når hulrommet, luftspalten, bak kledningen er ventilert.

For å få et visst kjennskap til hvilken varmemotstand kledning og luftspalte kan ha, ble alle veggene med luftet kledning målt både med igjentapede og åpne spalteåpninger.

Det var hele tiden en påtvungen oppadrettet luftstrøm på 2-3 m/s på kaldsiden under målingene. Denne luftstrømmen forårsaket også en påtvungen luftstrøm i luftspalten bak panelet når spalteåpningene var åpne, mens påvirkningen var minimal når åpningene var igjentapet. Lufthastighetene i luftspalten ble målt til henholdsvis 1.3-2 m/s og 0.2 m/s i de to situasjonene ved liggende panel og henholdsvis 1.2 og 0.1 m/s ved tømmermannspanel.

I tabellene 2a, b og c (s. 39-41) er målt motstand for kledning og luftspalte gitt for de 14 veggene med utlektet kledning, både med igjentapede og åpne spalteåpninger.

I tabellen nedenfor på denne siden er middelveidene gjengitt sammen med de to alternative beregningsverdiene i NS 3031.

Det er målingene av de 12 veggene med utlektet, liggende trekledning og med +25 °C og -5 °C på henholdsvis varm og kald side som er lagt til grunn.

Luftspaltens tykkelse var 22 mm mens tykkelsen av panelbordene var 19 mm.

Samlet varmemotstand for 22 mm luftspalte og  
19 mm trekledning  
m<sup>2</sup> °C/W

Middel av 12 målinger med igjentapede spalteåpninger	0.352
Middel av 12 målinger med åpne spalteåpninger	0.113
Verdi etter NS 3031 for ikke ventilert kledning	0.306
Verdi etter NS 3031 for ventilert kledning	0.153

To av prøveveggene hadde tømmermannskledning, utenpå 22 mm tykke liggende lekter uten sløyfer.

Tilsvarende middelveidier for de to var 0.334 og 0.152 for henholdsvis igjentapede og åpne spalteåpninger. En noe høyere verdi for tømmermannspanel enn for liggende panel ved åpen luftspalte skyldes at de horisontale lektene stenger noe for luftstrømmen.

Sammenligner en de målte verdiene for igjentapet luftspalte med beregningsverdiene etter NS 3031, er det meget god overensstemmelse.

Den påtvungne luftstrømningen ved målingene med åpne spalteåpninger er noe tilfeldig valgt og kan ikke sies å representere noen midlere vindvirkning. Måleverdiene er derfor heller ikke direkte sammenlignbare med verdiene for ventilert kledning beregnet etter NS 3031.

Etter vår vurdering viser måleresultatene imidlertid at dagens enkle regler, om å regne halv varmemotstand for luftspalte og kledning når spalten er ventilert, er en god tilnærming. Det er ikke noe behov for å endre denne regelen på grunnlag av måleresultatene fra dette prosjektet.

Som det framgår av tabellene 2a, b og c, varierer de målte motstandstallene for luftspalte og kledning noe for de enkelte veggene, selv ved lik innstilling av temperaturer og vifter, og selv om de samme panelbordene stort sett ble brukt om igjen.

For at alle vegger skal kunne behandles likt, og for at k-verdier basert på målinger i hot-box skal være mest mulig sammenlignbare med k-verdier beregnet etter NS 3031, må de målte k-verdiene korrigeres i samsvar med standardens beregningsregler for kledninger med luftspalte bak.

Dette er gjort i tabellene 6a og 6b (s.47-48), hvor følgende motstandsverdier er benyttet:

23 mm tykk luftspalte	=	0.170 m <sup>2</sup> K/W
19 mm trekledning	0.019/0.14 =	0.136 "
		<u>0.306 "</u>

Ved ventilert luftspalte som her,  $0.306/2 = 0.153 \text{ m}^2\text{K/W}$

For stålplatekledning er beregnet varmemotstand tilnærmet lik 0, slik at samlet motstand for kledning og ventilert luftspalte da er lik  $0.170/2 = 0.085 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

#### Sammenligning mellom varmestrømsapparat (hot-box) og varmestrømsmåler

Tabell 3 (side 42)

For å få et visst sammenligningsgrunnlag mellom de to målemetodene, ble det montert en enkelt varmestrømsmåler på varm side av veggene. Måleren, NBI-nr. 11, var laget av 3,5 mm hard trefiberplate med utvendige mål/måleareal 0,5 m x 0,5 m. Måleren ble plassert slik at den dekket en stender og festet med tape rundt hele randen. Det ble ikke montert randfelt rundt måleren.

En sammenligning mellom verdiene fra hot-boxen og fra varmestrømsmåleren viser et avvik som stort sett er som forventet.

For de 10 treveggene i gruppe 1 er k-verdien målt med varmestrømsmåleren gjennomsnittlig 5,2 % lavere enn hot-box-verdien. (Gjennomsnitt av 30 målinger). Ca. 2 % skyldes at arealandelen av treverk var lavere for varmestrømsmålerens måleareal enn for hele veggen, 9,4 % mot 11,2 %. Videre skyldes ca. 1 % at varmestrømsmåleren utgjør en liten tilleggsisolering til veggen. De resterende 2 % kan delvis skyldes at det manglet randfelt rundt varmestrømsmåleren. For øvrig ligger denne forskjellen innenfor begge metodenes feilgrenser.

For de øvrige veggene er avvikene klart større, spesielt for gruppe 3 og 4. Avvikene her skyldes hovedsaklig at varmemestrømsmåleren ikke dekker en representativ andel av veggens kuldebroer.

#### Forklaring av MÅLTE, KORRIGERTE VERDIER uten sikkerhetspåslag

Tabell 6a og 6b (s.47-48)

Ved den videre vurderingen av måleresultatene for de forskjellige veggene har vi brukt korrigerede totale varmemotstander og k-verdier, i samsvar med reglene som er omtalt tidligere. Vi har lagt de to målingene ved +10 °C middeltemperatur til grunn og beregnet gjennomsnittlig varmemotstand fra innvendig overflate til utvendig overflate innenfor eventuell luftspalte. Til denne verdien,  $M_V$ , er det lagt overgangsmotstander,  $m_i$  og  $m_U$ , og motstand for ventilert luftspalte og kledning etter reglene i NS 3031.

#### Beregningsmetodene i NS 3031

Tabell 5a og 5b (s. 45-46)

De to beregningsmetodene i NS 3031 gir to yttergrenser som den riktige varmemotstanden må ligge mellom. For **veggene 1.1-1.10**, hvor  $\lambda$ -verdiene for isolasjon og bærende materiale forholder seg som 1:3, er avstanden mellom 1. og 2. grenseverdi forholdsvis liten. Med nominelle inngangsverdier varierte avviket i k-verdi fra 3.8 % til 9.1 % med en middelvei på 5.8 %, regnet i forhold til grenseverdi 1. Med målte inngangsverdier varierte forskjellen mellom de to grenseverdiene fra 2.5 % til 5.6 % med en middelvei på 3.7 %. Regelen om å bruke middelveien av varmemotstandene fra de to metodene ved utregning av k-verdien synes derfor grei for disse veggene.

For **vegg 3.1**, Multielement, er forskjellen mellom grenseverdi 1 og grenseverdi 2 noe større, 13.7 % og 14.3 % ved henholdsvis nominelle og målte inngangsverdier. Dette skyldes at forskjellen mellom  $\lambda$ -verdiene for bæremateriale og isolasjon her er større.

Dette gjør seg enda større utslag for **betongelementveggene 3.2 og 3.3** og for **murveggen 4.1**, hvor det er stor avstand mellom de to grenseverdiene. Henholdsvis 74 %, 80 % og 46 % ved nominelle inngangsverdier og 80 %, 88 % og 109 % ved målte inngangsverdier.

For disse veggene er forskjellene mellom grenseverdiene så store at betingelsene i NS 3031 for å bruke midlere varmemotstand ved beregning av k-verdien ikke kan ansees å være oppfylt. For betongelementveggene, 3.2 og 3.3, stemmer imidlertid middelveiene likevel forholdsvis godt overens med målte k-verdier. Se under Bakgrunn og problemstillinger (s. 6) og under Oppsummering (s. 34).

#### EDB-metoder for flerdimensjonal varmestrøm

Tabell 5a og 5b .

For betongelementveggene 3.2 og 3.3 er det gjort beregninger med et EDB program "Tredim", for tredimensjonal varmestrøm. Disse beregningene ga k-verdier som lå mellom grenseverdiene 1 og 2 etter NS 3031, men nærmest grenseverdi 1, som gir lavest k-verdi. k-verdiene beregnet med "Tredim" lå fra 11.4 % til 13.5 % høyere enn grenseverdi 1.

For "stålveggene" 2.2 og 2.3 er det gjort beregninger med et EDB-program "Trell", for todimensjonal varmestrøm. Disse veggene, med slissede tynnplateprofiler av stål, kan ikke beregnes etter reglene i NS 3031, og vi har derfor ikke andre beregnede verdier å sammenligne med. Verdiene med målte inngangsverdier er noe usikre. Dette skyldes at verdiene er funnet ved manuell omregning ut fra EDB-resultatene for nominelle inngangsverdier.

#### Sammenligning mellom målte og beregnede k-verdier

Tabell 6a og 6b og Diagram 1a, 1b og 2.

Vi har sammenlignet de målte, korrigerede k-verdiene fra varmestrømsapparatet (Hot-box II) med to sett av beregnede k-verdier, beregninger ut fra nominelle inngangsverdier og beregninger ut fra målte inngangsverdier. De to settene med inngangsverdier er gitt i henholdsvis Tabell 4a og Tabell 4b.

De målte inngangsverdiene er, så langt det har vært praktisk mulig å måle det, i overensstemmelse med materialverdiene for de enkelte veggene ved målingen i varmestrømsapparatet. En kunne derfor forvente at k-verdier beregnet med målte inngangsverdier var tilnærmet lik de målte, korrigerede k-verdiene. Videre ville avviket mellom målt, korrigert k-verdi og beregnet verdi ut fra nominelle inngangsverdier tilsvare det sikkerhetspåslaget som er innarbeidet i  $\lambda$ -verdiene i NS 3031. Det viste seg imidlertid at dette stemte helt bra bare for noen av veggene, mens det for enkelte vegger var store avvik.

For flertallet av veggene lå de målte, korrigerede k-verdiene mellom beregningsverdiene, men for bare ni av dem lå målt, korrigert k-verdi nærmest den laveste verdien, som var beregnet ut fra målte inngangsverdier.

Avvikene kan skyldes feil i inngangsverdiene ved beregningen eller feil ved hot-box-målingen.

Ved beregningen er det forutsatt at veggene består av rette materialer og at isolasjonen er homogen og fyller alle hulrom nøyaktig. Selv om veggene er forsøkt bygd og isolert så nøyaktig som praktisk mulig, vil det likevel være et visst avvik fra det ideelle. På bakgrunn av senere målinger med innlagte isoleringsfeil, se s. 33, er det imidlertid lite trolig at unøyaktigheter ved bygging og isolering av veggene kan forklare hele avviket mellom målt og beregnet verdi.

For en kalibreringsvegg av 100 mm ekstrudert polystyren (uten bindingsverk) var målt k-verdi 5 % høyere enn beregnet ut fra målt  $\lambda$ -verdi og målt tykkelse. Dette er omtrent det samme som midlere avvik for bindingsverksveggene 1.1 - 1.8 (4,4 %).

Dette tyder på at en større del av avviket skyldes feil i målt k-verdi. 0 - 1,5 % kan skyldes at målearealet kan være noe større enn 6,00 m<sup>2</sup> (2,445 m x 2,45 m) som er benyttet ved bearbeiding av måleresultatet. Videre har en ved en nøyere gjennomgang av måleopplegget funnet at det kan være noen prosent feil ved målingen av tilført effekt til målekammeret. Dette skal avklares nærmere når vi får anskaffet nødvendig kalibreringsutstyr i løpet av 1986.

For veggene 1.1 - 1.8, som alle har stendere og sviller av massivt tre, lå k-verdiene beregnet ut fra målte inngangsverdier gjennomsnittlig 4.4 % lavere enn de målte, korrigerede k-verdiene.

k-verdiene beregnet ut fra nominelle inngangsverdier lå gjennomsnittlig 10 % over de målte, korrigerede k-verdiene. Det er i første rekke to av veggene som avviker fra de andre i denne sammenhengen. Det er vegg 1.3 og vegg 1.6, hvor de tilsvarende avvikene for begge er henholdsvis 0 og 15 %.

**Vegg 1.3** avviker fra de andre ved at den har Vaflex forhudningspapp som vindspærre i stedet for Asfalt Vindtett. En sannsynlig forklaring på at denne veggen hadde en forholdsvis lav målt k-verdi er at pappen ikke ligger helt inn til isolasjonen slik at det blir en ekstra luftspalte som her har virket som en liten tilleggisolering.

**Vegg 1.6** er den eneste av veggene som var isolert med mineralull klasse B. Målt k-verdi for denne veggen var praktisk talt lik målt k-verdi for vegg 1.5 som var isolert med mineralull klasse A, men for øvrig var identisk med vegg 1.6.

For **veggene 1.9 og 1.10**, som begge har bindingsverk av I-profiler, ligger målt, korrigeret k-verdi høyere enn begge beregningsverdiene, noe som var uventet. Se diagram 1a. Sammenligner en vegg 1.9 med vegg 1.8 som har krysslågt bindingsverk av massivt tre, så er målt k-verdi for I-profilveggen 1 % høyere enn for vegg 1.8 selv om I-profilveggen har 8 mm tykkere isolasjonssjikt. Etter beregningene med målte inngangsverdier "burde" i stedet k-verdien for I-profilveggen vært 6,5 % lavere enn for vegg 1.8. Se tabell 6b.

Årsaken til dette uventede resultatet skyldes etter alt å dømme ikke målefeil, etter som omtrent samme måleverdier ble oppnådd i to diplomoppgaver senere. Det at en har samme tendens for begge I-profilveggene, tyder også på at det ikke skyldes tilfeldigheter ved målingene.

Uten at vi kan gi noen sikker forklaring, vil vi peke på noen mulige årsaker.

Konveksjon på grunn av mulige glipper rundt isolasjonsplatene vil føre til ekstra varmetap. Selv om det var lagt vekt på at det skulle være samme gode utførelse for alle veggene, er det større mulighet for at det har oppstått slike glipper i I-profilveggene enn i de med bindingsverk av massivt tre. Det skyldes at de massive trestenderne krymper mye mer på grunn av uttørring enn I-profilene. Ved våre målinger var stendere + utføring av massivt tre krymper til 190 mm (vegg 1.8) mens I-profilene var 198 mm (vegg 1.9). Det betyr at det var mindre klem på isolasjonen i I-profilveggene enn i de tradisjonelle treveggene, og dermed større mulighet for glipper på kald og varm side av isolasjonen.

En annen mulig medvirkende årsak er at  $\lambda$ -verdiene for flenser og steg kan være noe høyere enn antatt ved beregningene.

For veggene i **gruppe 2**, som har bindingsverk av tynnplateprofiler, er det noe varierende overensstemmelse mellom målte og beregnede k-verdier.

For **vegg 2.1** har vi ikke beregninger å sammenligne med. Målt, korrigeret k-verdi for denne veggen er noe høyere enn for vegg 2.2 Dette skyldes dels at den er 5 mm tynnere, men mest at den har færre og annerledes utformede slisser i steget enn de øvrige tynnplateprofilveggene.

Målt, korrigeret k-verdi for **vegg 2.2** ligger noe lavere enn beregnet verdi med målte inngangsverdier. Dette kan skyldes unøyaktighet ved denne beregningsverdien etter som den er framkommet ved manuell omregning fra EDB-beregningen med nominelle inngangsverdier.

For **vegg 3.1**, Multielement, er det stor avstand mellom beregningsverdiene etter som nominell  $\lambda$ -verdi etter NS 3031 er vesentlig høyere enn den målte  $\lambda$ -verdien. Målt k-verdi var lavere enn begge beregningsverdiene. Dette kan skyldes at  $\lambda$ -verdien på PUR-skummet ble målt 14.5 måneder senere enn hot-box-målingen. Målt  $\lambda$ -verdi var da  $0,0228 \text{ W/}^\circ\text{C} \cdot \text{m}$ . Det kan godt tenkes at  $\lambda$ -verdier var  $0,019 \text{ W/}^\circ\text{C} \cdot \text{m}$  ved hot-box-målingen, noe som ville gitt full overensstemmelse mellom målt og beregnet verdi.

På et prosjektmøte våren 1984 ble det nevnt at målt verdi for multielementet var dårligere enn oppnådd ved feltmålinger, og at dette måtte undersøkes nærmere.

Ved senere oppskjæring av veggen viste det seg at det var et ca. 5 mm tykt luftrom mellom PUR-skummet og den ene gipsplaten for avgrensede deler av veggelementet. Dette kan ha hatt en viss negativ innvirkning på k-verdien.

Uten at vi vet hvor stort avviket var, synes det som om den mest sannsynlige forklaringen er at varmestrømsmålerne ved feltmålingene ikke har dekket en representativ del av veggen, slik at virkningen av sviller, finérdragere og el-rør ikke har kommet med. For denne veggen var det forholdsvis stort avvik, 16 %, mellom verdiene fra hot-box-målingen og verdiene fra målingen med varmestrømsmåler. Alle de andre veggene ble for øvrig målt uten innlagt el-rør.

For **betongelementveggene 3.2 og 3.3** ligger k-verdiene beregnet med "Tredim" klart lavere enn de målte, korrigerede. Det gjelder både med målte og med nominelle inngangsverdier. Det skyldes at virkningen av gjennomgående bindere ikke er tatt med i beregningene. Etter det vi så var det også gjennomgående betong med et tverrsnitt på flere  $\text{cm}^2$  ved binderne. Dette skyldes sannsynligvis at binderne lager så store hull i isolasjonen ved monteringen.

Resultatene viser at binderne i praksis har betydelig negativ innvirkning på k-verdien og at det er svært vanskelig å beregne k-verdien for betongelementer nøyaktig. Samtidig viser det seg imidlertid at det for disse veggene er forholdsvis godt samsvar mellom gjennomsnittet av 1. og 2. grenseverdi etter metodene i NS 3031 og målte, korrigerede k-verdier.

**Murvegg 4.1, Isoblokk type 2.** Også for denne veggen er det stor avstand mellom beregningene med målte og nominelle inngangsverdier, mens det synes å være bra overensstemmelse mellom målt, korrigert k-verdi og beregninger med målte inngangsverdier.

Noe av det store avviket mellom målt verdi og k-verdi beregnet med nominelle inngangsverdier skyldes at isolasjonslaget ble målt til å være 12 % tykkere enn oppgitt.

### Forslag til regler for samlet korrigering av målte k-verdier

Et av målene med prosjektet var å komme fram til regler for nødvendig korrigering av målte k-verdier. Hensikten med slike regler er at k-verdier og varmemotstander basert på målinger i hot-box skal inneholde tilnærmet samme sikkerhetspåslag som ved beregning med praktiske  $\lambda$ -verdier, samt at alle målte konstruksjoner skal få mest mulig likeverdig behandling.

I diagrammene 1a, 1b og 1c og i tabellene 5a og 5b er det gitt k-verdier og motstander beregnet ut fra to sett av varmeledningstall,  $\lambda_{10}$  og  $\lambda_p$ .  $\lambda_{10}$  er målt verdi for den isolasjonen som ble benyttet i den aktuelle vegg, mens  $\lambda_p$  er verdier fra NS 3031 2. utg. feb. 81.  $\lambda_p$ -verdiene inneholder blant annet sikkerhetspåslag.

For treveggene 1.1 - 1.10 er k-verdiene som er beregnet ut fra  $\lambda_p$  gjennomsnittlig 15 % høyere enn k-verdiene beregnet ut fra  $\lambda_{10}$ . Høyeste og laveste forskjell er henholdsvis 10,8 og 17,6 %. Tilsvarende tall for de tre stålveggene, 2.1 - 2.3 er 5,5 - 8,5 % med en gjennomsnittlig forskjell på 7 %.

For begge de to veggene med isolasjon av polyuretanskum er forskjellen ca. 40 %. For betongelementveggen med isolasjon av ekspandert polystyren er forskjellen 5 % mens det for betongelementveggen med isolasjon av mineralull er en forskjell på 20 %. For treveggene var stenderne, og dermed det isolerte hulrommet i veggene 2 - 3 % tynnere enn nominelt på grunn av uttørring og krymp. Forutsatt uendret veggtykkelse ville midlere forskjell vært 17 % i stedet for 15 %.

Som omtalt tidligere var det noe varierende overensstemmelse mellom målte og beregnede verdier. For treveggene 1.1 - 1.8 lå målte k-verdi gjennomsnittlig 4,5 % over k-verdiene beregnet ut fra  $\lambda_{10}$  og ca. 10 % under k-verdiene beregnet ut fra  $\lambda_p$ . For de øvrige veggene var det noe varierende og delvis klart større avvik. Se tabell 6b og diagrammene 1a, 1b og 1c.

Resultatene fra prosjektet gir derfor ikke uten videre grunnlag for å foreslå enkle og generelle regler for korrigering av målte verdier som passer for alle typer vegger.

I forbindelse med revideringen av NS 3031 ble det foreslått å ta bort sikkerhetspåslaget for utførelse i de praktiske varmeledningstallene  $\lambda_p$ , i standarden og i stedet legge et fast sikkerhetspåslag for utførelsen direkte på k-verdiene. Det er videre foreslått en ny standard med regler for korrigering av varmemotstand målt i hot-box.

Forslaget fra Norges Byggstandardiseringsråd NBR (F33/85) kan etter vår vurdering ikke aksepteres slik det foreligger. Det skyldes dels at det krever for omfattende og dermed sterkt fordyrende tilleggsmålinger og dels fordi reglene er urimelige.

Med utgangspunkt i NBRs forslag F33/85 og erfaring fra dette prosjektet vil vi foreslå at praktisk varmegjennomgangskoeffisient basert på hot-box-måling beregnes etter formlene på neste side som gir en tilnærmet "riktig" samlet korrigering. Det er benyttet nye symboler i samsvar med NS-forslagene.

I vårt forslag er det tatt sikte på gi et tillegg for den delen av varmestrømmen som går gjennom isolasjonen. Dette tillegget skal i prinsippet tilsvare avviket mellom  $\lambda_{10}$  for isolasjonen i prøveveggen og  $\lambda_p$ -NS. I prinsippet burde det også gis et tilsvarende tillegg for den varmestrømmen som går gjennom resten av konstruksjonen, f.eks. gjennom kuldebroene.

Det vil imidlertid innebære betydelig merarbeid og ofte store praktiske problemer å bestemme  $\lambda_{10}$  for de forskjellige bærende materialene i en konstruksjon. Etter som det heller ikke er lagt opp til noen regler for bestemmelse av  $\lambda_p$  ut fra  $\lambda_{10}$  for slike materialer i forslagene til NS, vil vi heller ikke foreslå at det beregnes noe tillegg for den delen av varmestrømmen som går "utenom" varmeisolasjonen.

$$1 \quad U = \frac{1}{R_T}$$

$$2 \quad R_T = R_v + \frac{1}{\frac{1}{R_{tm}} + \Delta U_i} + R_{kl} + R_k$$

$\Delta U_i$  er et tillegg for varmestrømmen gjennom isoleringen.

$$3.1 \quad \Delta U_i = \left( \frac{1}{\sum \frac{d_{pi}}{\lambda_{pi}}} - \frac{1}{\sum \frac{d_i}{\lambda_{10i}}} \right) \cdot \frac{R_{tm}}{\sum \frac{d_i}{\lambda_{10i}}}$$

For prøvevegger med nominelle mål og med en type isolasjon i et jevnt tykt lag forenkles formlene til:

$$3.2 \quad \Delta U_i = \frac{\Delta \lambda_i}{d_i} \cdot \frac{R_{tm}}{\frac{d_i}{\lambda_{10i}}}$$

#### Symbolforklaring

$R_T$	total varmemotstand luft til luft	$m^2 \cdot K/W$
$R_{tm}$	målt varmemotstand overflate til overflate	"
$R_v$	varmeovergangsmotstand på varm side (Fra NS)	"
$R_k$	varmeovergangsmotstand på kald side (Fra NS)	"
$R_{kl}$	beregnet varmemotstand for ev. luftspalte og utvendig kledning, etter NS	"
$\Delta U_i$	tillegg for varmestrøm gjennom isolasjonen	$W/m^2 \cdot K$
$d_i$	tykkelse på isolasjonen i prøveveggen	m
$d_{pi}$	nominell isolasjonstykkelse for veggtypen	"
$d_k$	tykkelse på kuldebroene i prøveveggen	"
$\lambda_{10i}$	varmekonduktivitet for isolasjonen i prøveveggen eks. tillegg	$W/m \cdot K$
$\lambda_{pi}$	praktisk varmekonduktivitet for varmeisolasjonsmaterialet inklusive tillegg (Fra NS)	$W/m \cdot K$

Overgangsmotstandene  $R_v$  og  $R_k$  tas direkte fra NS, mens motstanden  $R_{kl}$  for ev. luftspalte og utvendig kledning beregnes etter reglene i NS. Dette er i overensstemmelse med gjeldende praksis. De oppgitte korrigerede verdiene i diagrammene 1a, 1b og 1c og i tabellene 6a og 6b er korrigert på denne måten. (Det er imidlertid ikke gitt noen  $\Delta U_i$  tillegg i de verdiene).



I formelen for  $\Delta U_i$  inngår to ledd som multipliseres med hverandre. Første ledd er et uttrykk for økning i varmegjennomgang på grunn av at  $\lambda$ -verdiene og tykkelsene for prøveveggen avviker fra henholdsvis  $\lambda_p$  og nominell tykkelse.

Andre ledd er et tilnærmet uttrykk for hvor stor del av den samlede varme-strømmen som går gjennom varmeisolasjonen.

Ved korreksjon etter de foreslåtte formlene, 1 - 3 forutsettes det at  $\lambda_p$  verdiene fra NS inneholder alle aktuelle tillegg for spredning, aldring, fukt og utførelse.

Virkelig  $\lambda$ -verdi for isoleringsmaterialene i den aktuelle konstruksjonen bestemmes enten ved egne  $\lambda$ -verdimålinger eller indirekte ut fra midlere romvekt for de enkelte isolasjonssjiktene i veggen. Den siste framgangsmåten forutsetter at en har nødvendig kjennskap til sammenhengen mellom romvekt og  $\lambda$ -verdi for isolasjonen. Det vil være tilfellet for fiberisolasjon, men bare til en viss grad for f.eks EPS og PUR.

I tabell 7 har vi regnet ut praktiske varmegjennomgangstall og motstander basert på hot-box-målingene og de foreslåtte reglene for samlet korrigerings. Til sammenligning er også verdier beregnet etter NS 3031 2. utgave ( $\lambda_p$ ) angitt.

Den endelige fastsettelsen av praktiske k-verdier bør skje i et kontrollutvalg hvor verdiene kan vurderes i forhold til andre konstruksjoner eller utførelser. Her vil de foreslåtte reglene være et godt hjelpemiddel, men de bør nødvendigvis ikke gjøres til norsk standard etter som det vil være tilfeller som ikke kan dekkes av reglene.

## Målinger med innlagte isoleringsfeil

I forbindelse med et diplomarbeid høsten 1984 (ref. 5) ble to av veggene, 1.7/210 og 1.9/215 undersøkt på nytt med forskjellige isoleringsfeil. Veggene var uten utvendig kledning, men for øvrig ble målingene utført på samme måte og med samme utstyr som tidligere.

Resultatene er satt opp i tabell 8a og 8b.

### Kommentarer til resultatene

k-verdiene til tilnærmet feilfri utførelse var ca. 2 % lavere nå enn da veggene ble målt første gang 9 mnd. tidligere. Dette kan skyldes en ytterligere uttørking av veggene, men avvikene er så små at de ligger innenfor anslått måleusikkerhet og kan derfor også skyldes tilfedigheter.

Etter som forsøkene var begrenset til to veggtyper med et lite utvalg av mulig forekommende isoleringsfeil, må en være forsiktig med å trekke for vidtrekkende generelle konklusjoner. Luftlekkasjer er søkt holdt helt utenom ved målingene ved at veggene har god lufttetting både på varm og kald side, og det var tilnærmet 0 trykkdifferanse over veggene. Det må understrekes at virkningen av slike isoleringsfeil kan bli langt større om det i tillegg oppstår luftlekkasjer på grunn av utettheter i innvendig dampsperre og/eller utvendig vindsperre.

Etter vår vurdering tyder forsøkene på følgende:

- Forutsatt riktig avstand mellom stenderne og riktig format på mineralullisolasjonene, vil unøyaktig innmontering sjelden føre til mer enn noen få prosent økning av k-verdien. Selv om isolasjonen presses hardt inn ved alle stender og sviller, er økningen bare mellom 4 og 6 % avhengig av tykkelsen (150 og 200 mm).
- Gjennomgående vertikale spalter på grunn av slurvete og unøyaktig tilskåret isolasjon kan føre til store lokale økninger i k-verdien. Samlet for en hel vegg må det imidlertid være svært slurvete arbeid for at k-verdien skal øke mer enn 15 %.

Ved en av målingene med feil fikk vi et uventet resultat. Det gjelder vegg 1.9 målenr. 230.5, hvor feilen besto i en 25 mm bred gjennomgående horisontal glippe midt i feltet. Som ved de andre målingene ble også denne veggen termograferet. Termograferingen viste som forventet en horisontal, nedkjølt stripe der det manglet isolasjon, og en kunne forvente en økning i k-verdien på 3 - 5 %. I stedet ble det reistret en liten reduksjon i k-verdien på 1 %. Vi har ikke noen sikker forklaring på dette. Vi antar imidlertid at det skyldes ulik konveksjon inne i veggen ved de to tilfellene. Selv ved "tilnærmet feilfri" utførelse vil det kunne være noen mm luftspalte rundt isolasjonsplatene enkelte steder. På grunn av forskjellig temperatur gjennom isolasjonen vil det oppstå en luftsirkulasjon i eventuelle luftspalter i veggen, nedadrettet ved vindsperren og oppadrettet ved innvendig kledning. Denne luftstrømmen vil bli hindret om isolasjonene slutter tett til f.eks svillene.

## Oppsummering og konklusjon

Etter som vi har målt på bare en prøvevegg av hver av de 18 typene, må en være forsiktig med å trekke for bastante konklusjoner. En må spesielt være forsiktig med å rangere de ulike veggene ut fra måleresultatene når forskjellene er mindre enn anslått målenøyaktighet på 5 %.

Prosjektet har etter vår vurdering bidratt med en viss avklaring på følgende forhold:

- Målingene og beregningene som er gjennomført viser at det er noe varierende overensstemmelse mellom målte og beregnede k-verdier for de forskjellige veggene.
- Beregningsmetoden i NS 3031, 2. utgave, synes å gi god nøyaktighet for vegger med bindingsverk av massivt tre. Beregnet praktisk k-verdi ligger gjennomsnittlig ca. 15 % over teoretisk k-verdi og ca. 10 % over målt k-verdi.
- Måleresultatene for de to veggene med bindingsverk av I-profiler tyder på at en ikke oppnår lavere k-verdi ved å benytte I-profiler i stedet for massivt tre. Praktisk k-verdi beregnet etter NS var litt lavere enn målt k-verdi.
- Vegger med bindingsverk av tynnplateprofiler lar seg ikke beregne etter reglene i NS. Beregninger som er gjort med EDB-program for flerdimensjonal varmestrøm stemmer imidlertid bra overens med måleresultatene. Beregnet praktisk k-verdi ligger gjennomsnittlig 7 % over målt k-verdi.
- For isolerte betongelement vegger og murvegger gir måling i hot-box sikrere resultater enn beregninger. Beregninger gir gjerne for lav k-verdi etter som det kan være vanskelig å få med full virking av kuldebroene.
- Reglene i gjeldende NS 3031, 2. utgave, om når en kan og skal benytte de forskjellige beregnings-metodene, bør forandres og gjøres mer presise. Resultatene fra prosjektet tyder på at reglene først i kap. 4.3 både kan forenkles og gjøres klarere. Som generell regel bør en bruke middelverdien av 1. og 2. grenseverdi for varmemotstanden. Dette bør gjøres også når forskjellen i  $\lambda$ -verdi er stor for forskjellige materialer i et sjikt. Regelen om å kunne velge den av grenseverdiene som en tror ligger nærmest riktig verdi bør fjernes, da den lett fører til forskjellig praksis og for gunstige k-verdier.
- I gjeldende standarder er det angitt at målte k-verdier skal korrigeres slik at de stemmer overens med de faste overgangsmotstandene i NS. I denne rapporten foreslås det regler for samlet korrigerering av måleverdier fram til praktisk k-verdi. Reglene omfatter foruten overgangsmotstanden også luftet kledning og nødvendig påslag som følge av påslagene i de praktiske varmeldningstallene,  $\lambda_p$ , i NS.

**Referanser**

1. Byggeforskriftene av 1981, kap. 54. Varmeisolering og tetthet
2. Veiledning til byggeforskriftene, kap 54
3. Norsk Standard 3031, 2. utgave. Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming. Feb. 1981
4. Norsk Standard 3161, 1. utgave. Bestemmelse av varmemotstand ved hjelp av varmestrømsapparat (hot-box). Aug. 1982
5. Norges Byggstandardiseringsråd, F31/85, F32/85, F33/85- forslag til Norske Standarder
6. Gåsvik, Helen. Innvirkning av forskjellig arbeidsutførelse på varmeisolasjonen. Hovedoppgave ved Institutt for husbyggingsteknikk. NTH høsten 1984

## Sammendrag

I rapporten redegjøres det for bakgrunn og problemstillinger vedrørende påvisning av k-verdier ved hjelp av forskjellige beregningsmetoder og målemetoder. I samarbeid med 14 industribedrifter og organisasjoner er det ved NBI målt og beregnet k-verdier for 18 vegger.

Hovedhensikten med prosjektet har vært å fremskaffe et bedre grunnlag for å kunne vurdere sammenhengen mellom de forskjellige metodene for påvisning av varmegjennomgangstall, k-verdier, for vegger.

Målingene er utført i samsvar med Norsk Standard 3161, 1. utgave, ved hjelp av NBIs store varmestrømsapparat, Hot-box 2. Rapporten har med en kort beskrivelse av utstyret. Varmegjennomgangen ble samtidig også målt på et begrenset utsnitt av veggene ved hjelp av en varmestrømsmåler.

Hot-box-målingene ble utført på vegger i full størrelse med normal andel av kuldebroer. Oppbygging, dimensjoner og materialverdier for veggene er gitt på tegninger og i tabeller.

Veggens varmemotstander og k-verdier er beregnet dels etter reglene i Norsk Standard 3031, 2. utgave 1981 og dels ved hjelp av EDB-programmer for flerdimensjonal varmestrøm.

Det er gjort beregninger både med nominelle og målte inngangsverdier. I rapporten er målte og beregnede k-verdier gitt i diagrammer og tabeller. Det er noe varierende overensstemmelse mellom målte og beregnede k-verdier for de forskjellige veggene.

For de åtte veggene med bindingsverk av massivt tre var de praktiske k-verdiene beregnet etter NS 3031 gjennomsnittlig 10 % høyere enn de målte. De "teoretiske" k-verdiene, beregnet med målte inngangsverdier, var imidlertid gjennomsnittlig ca. 5 % lavere enn de målte. De andre veggtypene som I-profilvegger, stålprofilvegger, sandwichvegger og murvegger, er nærmere omtalt i rapporten.

Selv om prosjektet ikke har gitt noen enkle og entydige sammenhenger mellom målte og beregnede verdier, er det delvis på bakgrunn av resultatene utarbeidet et forslag til samlet korrigering av målte verdier fra hot-box fram til praktisk k-verdi.

I rapporten er det også gjengitt en del resultater fra et diplomarbeid, hvor to av veggene ble undersøkt på nytt med forskjellige innlagte isoleringsfeil.

Diagram 1a Sammenligning mellom målte, korrigerte k-verdier uten sikkerhetspåslag og k-verdier beregnet etter metodene i NS 3031 med både målte og nominelle inngangsverdier

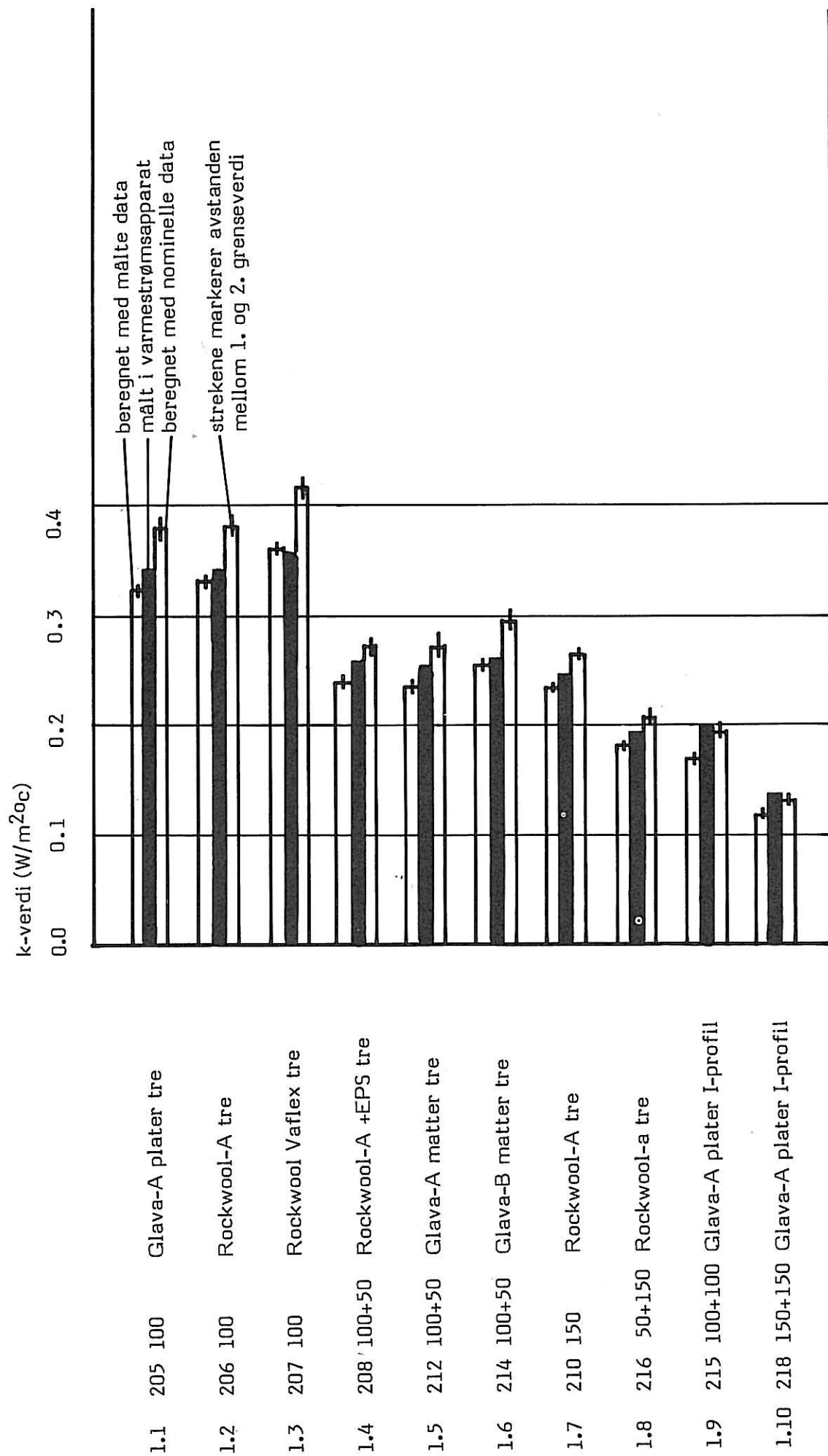


Diagram 1b Sammenligning mellom **målte**, **korrigerede k-verdier uten sikkerhetspåslag** og **k-verdier beregnet etter metodene i NS 3031** med både målte og nominelle inngangsverdier

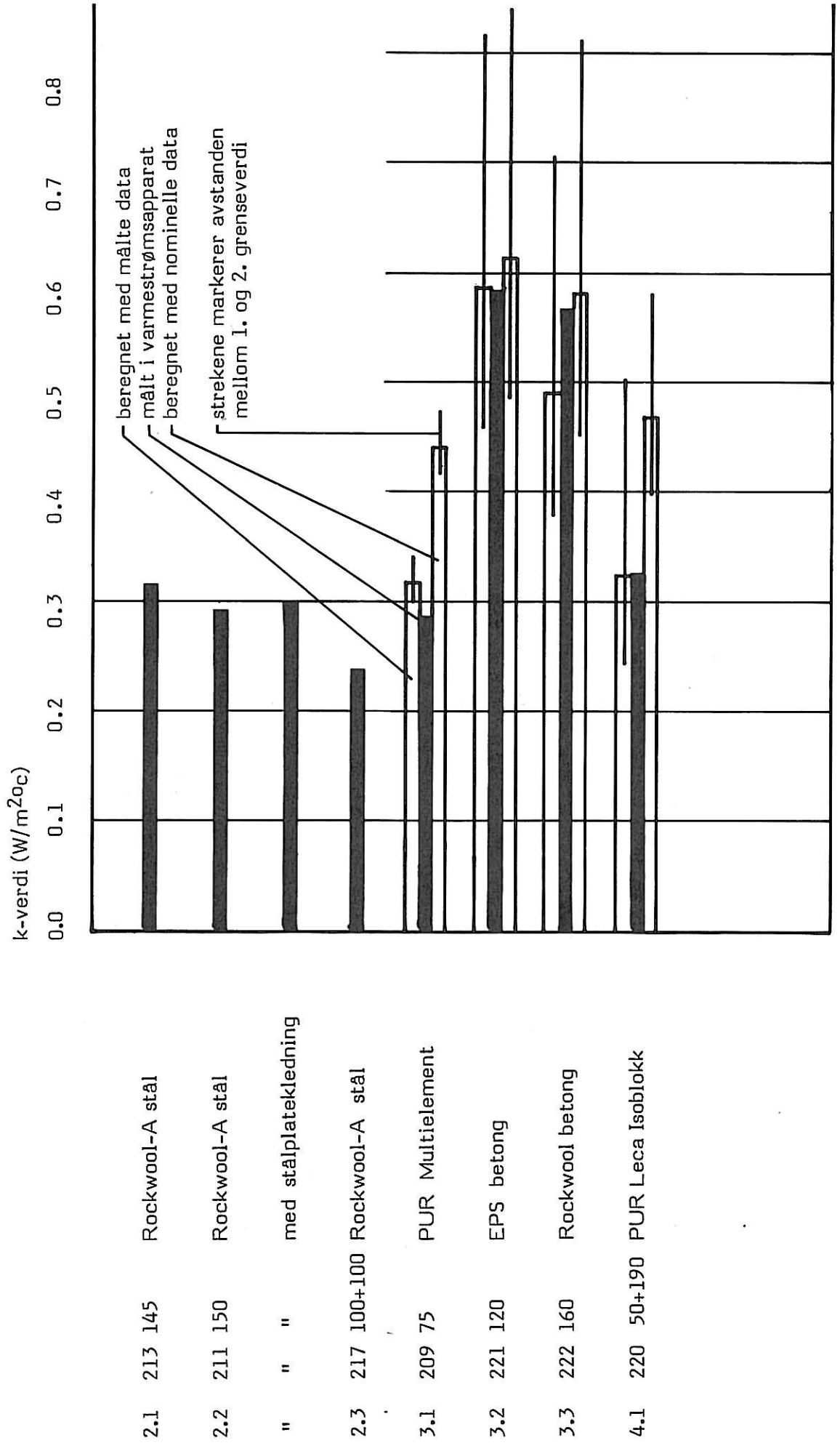
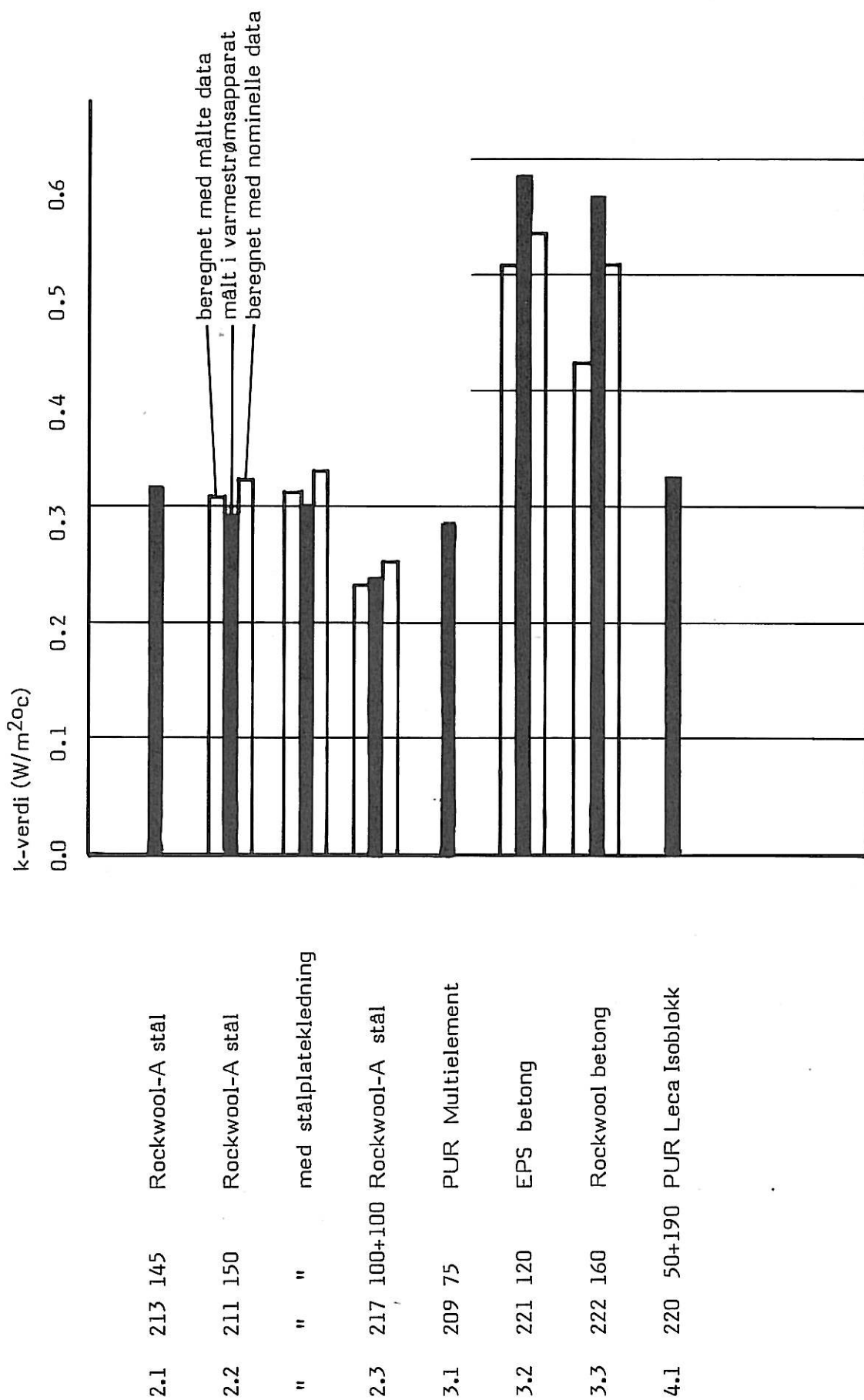


Diagram 2 Sammenligning mellom **målte**, **korrigerede k-verdier uten sikkerhetspåslag** og **k-verdier beregnet** med EDB-programmer for flerdimensjonal varmestrøm med både målte og nominelle inngangsverdier





Tabell 2a

**Målte** verdier fra varmestrømsapparat (hot-box)

uten korreksjoner eller sikkerhetspåslag

Målebetingelser:	Eventuell luftspalte	Lukket
	Innetemperatur	+25 °C
	Utetemperatur	- 5 °C
	Middeltemperatur	+10 °C

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	$m_i$ m <sup>2</sup> K/W	$M_v$ m <sup>2</sup> K/W	$M_{kl}$ m <sup>2</sup> K/W	$m_u$ m <sup>2</sup> K/W	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	$k$ W/m <sup>2</sup> K
1.1	205 100	Glava-A plater tre	0.107	2.606	0.350	0.034	3.097	0.323
1.2	206 100	Rockwool-A tre	0.095	2.603	0.356	0.029	3.084	0.324
1.3	207 100	Rockwool Vaflex tre	0.093	2.469	0.333	0.032	2.928	0.342
1.4	208 100+50	Rockwool-A +EPS tre	0.095	3.549	0.377	0.024	4.044	0.247
1.5	212 100+50	Glava-A matter tre	0.091	3.642	0.329	0.032	4.093	0.244
1.6	214 100+50	Glava-B matter tre	0.087	3.539	0.338	0.029	3.994	0.250
1.7	210 150	Rockwool-A tre	0.075	3.741	0.357	0.039	4.212	0.237
1.8	216 50+150	Rockwool-A tre	0.075	4.763	0.379	0.030	5.246	0.191
1.9	215 100+100	Glava-A pl. I-profil	0.084	4.798	0.392	0.040	5.314	0.188
1.10	218 150+150	Glava-A pl. I-profil	0.064	6.895	0.385	0.044	7.388	0.135
2.1	213 145	Rockwool-A stål	0.080	2.876	0.315	0.038	3.309	0.302
2.2	211 150	Rockwool-A stål	0.091	3.121	0.320	0.031	3.563	0.281
"	" "	med stålpl.kledning	0.087	3.107	0.256	0.009	3.459	0.289
2.3	217 100+100	Rockwool-A stål	0.066	3.938	0.297	0.027	4.328	0.231
3.1	209 75	PUR Multielement	0.100	3.260	0.361	0.044	3.765	0.266
3.2	221 120	EPS Betong						
3.3	222 160	Rockwool Betong						
4.1	220 50+190	PUR, Leca Isoblokk						

## Symbolforklaring:

$m_i$	=	innvendig varmeovergangsmotstand
$M_v$	=	veggens varmemotstand eks. $m_i, m_u$ og $M_{kl}$
$M_{kl}$	=	varmemotstand for luftspalte og kledning
$m_u$	=	utvendig varmeovergangsmotstand
$M_T$	=	veggens totale varmemotstand
$k$	=	veggens varmegjennomgangskoeffisient, $k=1/M_T$

Tabell 2b

**Målte** verdier fra varmestrømsapparat (hot-box)

uten korreksjoner eller sikkerhetspåslag

Målebetingelser:	Eventuell luftspalte	Åpen
	Innetemperatur	+ 25 °C
	Utetemperatur	- 5 °C
	Middeltemperatur	+ 10 °C

Vegg nr.	Måle nr.	Måle	Veggbeskrivelse	$m_i$ m <sup>2</sup> K/W	$M_v$ m <sup>2</sup> K/W	$M_{kl}$ m <sup>2</sup> K/W	$m_u$ m <sup>2</sup> K/W	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	$k$ W/m <sup>2</sup> K
1.1	205	100	Glava-A plater tre	0.109	2.615	0.109	-0.003	2.830	0.353
1.2	206	100	Rockwool-A tre	0.096	2.606	0.117	-0.002	2.817	0.355
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	0.095	2.461	0.117	0.002	2.712	0.369
1.4	208	100+50	Rockwool-A +EPS tre	0.096	3.538	0.134	0.001	3.769	0.265
1.5	212	100+50	Glava-A matter tre	0.087	3.546	0.143	0.005	3.781	0.264
1.6	214	100+50	Glava-B matter tre	0.091	3.585	0.161	0.008	3.845	0.260
1.7	210	150	Rockwool-A tre	0.076	3.754	0.109	0.001	3.940	0.254
1.8	216	50+150	Rockwool-A tre	0.082	4.810	0.131	-0.005	5,017	0.199
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	0.083	4.682	0.122	-0.003	4.884	0.205
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	0.064	6.926	0.137	0.005	7.132	0.140
2.1	213	145	Rockwool-A stål	0.079	2.824	0.137	0.006	3.046	0.328
2.2	211	150	Rockwool-A stål	0.090	3.099	0.120	0.004	3.313	0.302
"	"	"	med stålpl.kledning	0.089	3.094	0.161	-0.012	3.331	0.300
2.3	217	100+100	Rockwool-A stål	0.068	3.780	0.088	-0.003	3.933	0.254
3.1	209	75	PUR Multielement	0.100	3.204	0.122	0.004	3.430	0.292
3.2	221	120	EPS Betong	0.086	1.546		0.035	1.668	0.600
3.3	222	160	Rockwool Betong	0.077	1.590		0.034	1.700	0.588
4.1	220	50+190	PUR, Leca Isoblokk	0.055	2.902		0.049	3.006	0.333

## Symbolforklaring:

- $m_i$  = innvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_v$  = veggens varmemotstand eks.  $m_i, m_u$  og  $M_{kl}$   
 $M_{kl}$  = varmemotstand for luftspalte og kledning  
 $m_u$  = utvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_T$  = veggens totale varmemotstand  
 $k$  = veggens varmegjennomgangskoeffisient,  $k=1/M_T$

Tabell 2c

**Målte** verdier fra varmestrømsapparat (hot-box)

uten korreksjoner eller sikkerhetspåslag

Målebetingelser:	Eventuell luftspalte	Åpen
	Innetemperatur	+ 25 °C
	Utetemperatur	- 25 °C
	Middeltemperatur	0 °C

Vegg nr.	Måle nr.	Måle	Veggbeskrivelse	$m_i$ m <sup>2</sup> K/W	$M_v$ m <sup>2</sup> K/W	$M_{kl}$ m <sup>2</sup> K/W	$m_u$ m <sup>2</sup> K/W	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	$k$ W/m <sup>2</sup> K
1.1	205	100	Glava-A plater tre	0.105	2.747	0.109	0.005	2.996	0.337
1.2	206	100	Rockwool-A tre	0.098	2.725	0.120	0.006	2.949	0.339
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	0.095	2.550	0.156	0.008	2.809	0.356
1.4	208	100+50	Rockwool-A +EPS tre	0.097	3.673	0.133	0.003	3.906	0.256
1.5	212	100+50	Glava-A matter tre	0.093	3.833	0.152	0.008	4.087	0.245
1.6	214	100+50	Glava-B matter tre	0.095	3.697	0.154	0.010	3.956	0.253
1.7	210	150	Rockwool-A tre	0.082	3.977	0.113	0.002	4.174	0.240
1.8	216	50+150	Rockwool-A tre	0.090	5.076	0.132	-.002	5.296	0.189
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	0.087	5.038	0.130	-.004	5.252	0.190
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	0.078	7.060	0.147	0.003	7.288	0.137
2.1	213	145	Rockwool-A stål	0.081	2.920	0.148	0.010	3.159	0.317
2.2	211	150	Rockwool-A stål	0.092	3.198	0.120	0.006	3.417	0.293
"	"	"	med stålpl.kledning	0.092	3.207	0.255	-.095	3.458	0.289
2.3	217	100+100	Rockwool-A stål	0.079	3.856	0.083	-.009	4.008	0.249
3.1	209	75	PUR Multielement	0.102	3.236	0.120	0.005	3.463	0.289
3.2	221	120	EPS Betong	0.086	1.576		0.037	1.700	0.588
3.3	222	160	Rockwool Betong	0.080	1.676		0.034	1.790	0.559
4.1	220	50+190	PUR, Leca Isoblokk	0.064	2.981		0.056	3.101	0.322

## Symbolforklaring:

$m_i$	=	innvendig varmeovergangsmotstand
$M_v$	=	veggens varmemotstand eks. $m_i, m_u$ og $M_{kl}$
$M_{kl}$	=	varmemotstand for luftspalte og kledning
$m_u$	=	utvendig varmeovergangsmotstand
$M_T$	=	veggens totale varmemotstand
$k$	=	veggens varmegjennomgangskoeffisient, $k=1/M_T$

Tabell 3

Sammenligning mellom

k-verdier **målt** med varmestrømsapparat (VSA) (hot-box)og k-verdier **målt** med en varmestrømsmåler (VSM)k-verdiene ( $W/m^2K$ ) er uten korreksjoner og sikkerhetspåslag

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Lukket luftspalte		Åpen luftspalte		Åpen luftspalte		Midlere avvik mellom VSM og VSA
			VSA	VSM	VSA	VSM	VSA	VSM	
			$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_i = + 25 \text{ }^\circ\text{C}$	
			$t_u = - 5 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_u = - 5 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_u = - 5 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_u = - 5 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_u = - 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_u = - 25 \text{ }^\circ\text{C}$	
			$t_m = + 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_m = + 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_m = + 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_m = + 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_m = 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_m = 0 \text{ }^\circ\text{C}$	
									%
1.1	205 100	Glava-A plater tre	0.323	0.299	0.353	0.323	0.337	0.312	-7.8
1.2	206 100	Rockwool-A tre	0.324	0.309	0.355	0.331	0.339	0.321	-5.4
1.3	207 100	Rockwool Vaflex tre	0.342	0.325	0.369	0.341	0.356	0.341	-4.7
1.4	208 100+50	Rockwool-A +EPS tre	0.247	0.235	0.265	0.359	0.256	0.238	-6.2
1.5	212 100+50	Glava-A matter tre	0.244	0.235	0.264	0.251	0.245	0.234	-5.0
1.6	214 100+50	Glava-B matter tre	0.250	0.242	0.260	0.253	0.253	0.241	-3.8
1.7	210 150	Rockwool-A tre	0.237	0.236	0.254	0.258	0.240	0.236	-1.0
1.8	216 50+150	Rockwool-A tre	0.191	0.178	0.199	0.257	0.189	0.178	-5.9
1.9	215 100+100	Glava-A pl. I-profil	0.188	0.184	0.205	0.190	0.190	0.184	-4.0
1.10	218 150+150	Glava-A pl. I-profil	0.135	0.126	0.140	0.130	0.137	0.124	-7.8
2.1	213 145	Rockwool-A stål	0.302	0.282	0.328	0.200	0.317	0.289	-8.1
2.2	211 150	Rockwool-A stål	0.281	0.261	0.302	0.276	0.293	0.263	-8.7
"	" "	med stålpl.kledning	0.289	0.268	0.300	0.278	0.289	0.263	-7.9
2.3	217 100+100	Rockwool-A stål	0.231	0.203	0.254	0.210	0.249	0.203	-16.0
3.1	209 75	PUR Multielement	0.266	0.228	0.292	0.238	0.289	0.237	-16.9
3.2	221 120	EPS Betong			0.600	0.290	0.588	0.276	-52.4
3.3	222 160	Rockwool Betong			0.588	0.455	0.559	0.422	-23.6
4.1	220 50+190	PUR, Leca Isoblokk			0.333	0.277	0.322	0.269	-16.6

Tabell 4a Nominelle dimensjoner og  $\lambda$ -verdier etter NS 3031, 2. utgave

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Varmeisolasjon			Bærende materiale i isolasjonsskikt			
			tykkelse mm	densitet kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ -verdi W/Km	densitet kg/m <sup>3</sup>	fuktinnhold vekt-%	$\lambda$ -verdi W/Km	arealandel %
1.1	205 100	Glava-A plater tre	98	21.2	0.040	500	16	0.14	11.7
1.2	206 100	Rockwool-A tre	98	31.8	0.040	500	16	0.14	11.7
1.3	207 100	Rockwool Vaflex tre	98	31.8	0.040	500	16	0.14	11.7
1.4	208 100+	Rockwool-A +EPS tre	98	31.8	0.040	500	16	0.14	11.7
"	" 50	EPS,Sundolitt utv.	50	21.7	0.040	-	-	-	0.0
1.5	212 100+	Glava-A matter tre	98	20.8	0.040	500	16	0.14	11.7
"	" 50	krysslågt skikt utv.	48	21.8	0.040	500	16	0.14	11.8
1.6	214 100+	Glava-B matter tre	98	15.8	0.045	500	16	0.14	11.7
"	" 50	krysslågt skikt utv.	48	15.9	0.045	500	16	0.14	11.8
1.7	210 150	Rockwool-A tre	148	31.9	0.040	500	16	0.14	8.8
1.8	216 150+	Rockwool-A tre	148	29.0	0.040	500	16	0.14	8.8
"	" 50	krysslågt skikt innv.	48	35.4	0.040	500	16	0.14	11.8
1.9	215 100+100	Glava-A pl. I-profil	200	20.0	0.040	500	16	0.14	1.5-11.2
1.10	218 150+150	Glava-A pl. I-profil	300	19.0	0.040	500	16	0.14	2.5-11.2
2.1	213 145	Rockwool-A stål	145	32.1	0.040	-	-	-	-
2.2	211 150	Rockwool-A stål	150	30.9	0.040	-	-	-	-
2.3	217 100+100	Rockwool-A stål	200	32.6	0.040	-	-	-	-
3.1	209 75	PUR Multielement	74	32-36	0.032	500	16	0.14	0-11.7
3.2	221 120	EPS Betong	120	20.0	0.040	2300	2	1.70	4.8
3.3	222 130+	Rockwool Betong	130	80.0	0.040	2300	2	1.70	30.6
"	" 30	skikt uten betong	30	80.0	0.040	-	-	-	-
4.1	220 50+	PUR, Leca Isoblokk	50	32.0	0.032	770	4	0.22	7.9
"	" 2•100	Lettklinkerblokk	2•100	770.0	0.220				

Tabell 4b Målte dimensjoner og  $\lambda$ -verdier

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Varmeisolasjon Bærende materiale i isolasjonsskiktet							
			tykkelse mm	densitet kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ -verdi W/Km	densitet kg/m <sup>3</sup>	fuktinnhold vekt-%	$\lambda$ -verdi W/Km	arealandel %	
1.1	205	100	Glava-A plater tre	96	21.6	0.0342	435	10.5	0.099	11.2
1.2	206	100	Rockwool-A tre	96	32.4	0.0355	430	9.7	0.099	11.2
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	96	32.4	0.0355	430	9.5	0.099	11.2
1.4	208	100+	Rockwool-A +EPS tre	96	32.4	0.0355	430	9.3	0.099	11.2
"	"	50	EPS,Sundolitt utv.	50	21.7	0.0364	-	-	-	0.0
1.5	212	100+	Glava-A matter tre	96	21.2	0.0355	430	8,0	0.097	11.5
"	"	50	krysslagt skikt utv.	47	22.2	0.0342	430	8.0	0.097	11.6
1.6	214	100+	Glava-B matter tre	96	16.2	0.0368	430	7.6	0.097	11.5
"	"	50	krysslagt skikt utv.	47	16.3	0.0374	430	7.6	0.097	11.6
1.7	210	150	Rockwool-A tre	145	32.6	0.0363	430	9.0	0.098	8.5
1.8	216	150+	Rockwool-A tre	144	29.2	0.0362	430	7.5	0.097	8.2
"	"	50	krysslagt skikt innv.	46	35.5	0.0333	430	7.5	0.097	11.2
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	198	20.2	0.0349	430	7.6	0.097'	1.5-11.2
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	300	19.0	0.0369	430	7.5	0.097'	2.5-11.2
2.1	213	145	Rockwool-A stål	145	32.1	0.0357	-	-	-	-
2.2	211	150	Rockwool-A stål	150	30.9	0.0365	-	-	-	-
2.3	217	100+100	Rockwool-A stål	200	32.6	0.0349	-	-	-	-
3.1	209	75	PUR Multielement	76		0.0228	430	9.0	0.097'	0-11.2
3.2	221	120	EPS Betong	120		0.0360'	2300'	5.3	1.7'	4.8
3.3	222	130+	Rockwool Betong	130		0.0320'	2300'	5.3	1,7'	30.6
"	"	30	Skikt uten betong	30		0.0320'	-	-	-	-
4.1	220	50+	PUR, Leca Isoblokk	56	38.7	0.0151	770'	6.3	0.20'	7.9
"	"	2·100	Lettklinkerblokk	2·97		0.200'				

Symbolforklaring: ' = verdien er fra tidligere utførte målinger på tilsvarende materialer

Tabell 5a **Beregnete totale varmemotstander og k-verdier**  
 med **nominelle** dimensjoner og  $\lambda$ -verdier etter NS 3031 2. utgave.  
 Åpen luftspalte bak kledning unntatt for veggene i gruppe 3 og 4

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Etter metodene i NS 3031, 2. utgave						EDB-program		
			1. grense-		2. grense-		Middelverdi		flerdim.		
			verdi		verdi		M <sub>T</sub>	k	M <sub>T</sub>	k	varmestrø
				M <sub>T</sub>	k	M <sub>T</sub>	k	M <sub>T</sub>	k	M <sub>T</sub>	k
				m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/n
1.1	205	100	Glava-A plater tre	2.709	0.369	2.562	0.390	2.635	0.380		
1.2	206	100	Rockwool- A tre	2.709	0.369	2.562	0.390	2.635	0.380		
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	2.463	0.406	2.348	0.426	2.405	0.416		
1.4	208	100+50	Rockwool-A +EPS tre	3.798	0.263	3.572	0.280	3.685	0.271		
1.5	212	100+50	Glava-A matter tre	3.800	0.263	3.489	0.287	3.644	0.274		
1.6	214	100+50	Glava-B matter tre	3.497	0.286	3.267	0.306	3.382	0.296		
1.7	210	150	Rockwool-A tre	3.844	0.260	3.697	0.270	3.771	0.265		
1.8	216	50+150	Rockwool-A tre	4.977	0.201	4.649	0.215	4.813	0.208		
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	5.244	0.191	4.966	0.201	5.105	0.196		
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	7.670	0.130	7.409	0.135	7.539	0.133		
2.1	213	145	Rockwool-A stål								
2.2	211	150	Rockwool-A stål							3.084	0.1
"	"	"	med stålpl.kledning							3.016	0.1
2.3	217	100+100	Rockwool A stål							3.951	0.1
3.1	209	75	PUR Multielement	2.416	0.414	2.121	0.471	2.269	0.441		
3.2	221	120	EPS Betong	2.075	0.482	1.194	0.837	1.635	0.612	1.871	0.1
3.3	222	160	Rockwool Betong	2.222	0.450	1.228	0.814	1.725	0.580	1.966	0.1
4.1	220	50+190	PUR, Leca Isoblokk	2.533	0.395	1.731	0.578	2.132	0.469		

Symbolforklaring

M<sub>T</sub> = total varmemotstand

k = varmegjennomgangskoeffisient k=1/M<sub>T</sub>

Tabell 5b

**Beregnete** totale varmemotstander og k-verdiermed målte dimensjoner og  $\lambda$ -verdier

Åpen luftspalte bak kledning unntatt for veggene i gruppe 3 og 4

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Etter metodene i NS 3031, 2.utgave						EDB-program		
			1. grense- verdi		2. grense- verdi		Middelverdier		flerdim. varmestrøm		
			$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	k W/m <sup>2</sup> K	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	k W/m <sup>2</sup> K	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	k W/m <sup>2</sup> K	$M_T$ m <sup>2</sup> K/W	k W/m <sup>2</sup> K	
1.1	205	100	Glava-A plater tre	3.155	0.317	3.039	0.329	3.097	0.323		
1.2	206	100	Rockwool-A tre	3.084	0.324	2.979	0.336	3.032	0.330		
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	2.821	0.354	2.739	0.365	2.780	0.360		
1.4	208	100+50	Rockwool-A +EPS tre	4.221	0.237	4.063	0.246	4.142	0.241		
1.5	212	100+50	Glava-A matter tre	4.344	0.230	4.117	0.243	4.230	0.236		
1.6	214	100+50	Glava-B matter tre	4.009	0.249	3.838	0.261	3.923	0.255		
1.7	210	150	Rockwool-A tre	4.304	0.232	4.210	0.238	4.257	0.235		
1.8	216	50+150	Rockwool-A tre	5.620	0.178	5.395	0.185	5.508	0.182		
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	5.997	0.167	5.788	0.173	5.893	0.170		
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	8.443	0.118	8.273	0.121	8.358	0.120		
2.1	213	145	Rockwool-A stål								
2.2	211	150	Rockwool-A stål							3.260	0.307
"	"	"	med stålpl.kledning							3.192	0.313
2.3	217	100+100	Rockwool A stål							4.292	0.233
3.1	209	75	PUR Multielement	3.332	0.300	2.911	0.343	3.122	0.320		
3.2	221	120	EPS Betong	2.191	0.456	1.224	0.817	1.707	0.586	1.956	0.511
3.3	222	160	Rockwool Betong	2.659	0.376	1.418	0.705	2.039	0.490	2.342	0.427
4.1	220	50+190	PUR, Leca Isoblokk	4.166	0.240	1.993	0.502	3.079	0.325		

Symbolforklaring:

 $M_T$  = total varmemotstandk = varmegjennomgangskoeffisient  $k = 1/M_T$



Tabell 6a Sammenligning mellom  
**målte, korrigerte** verdier uten sikkerhetspåslag, og  
**beregnete** verdier ut fra **nominelle** dimensjoner og  $\lambda$ -verdier fra NS 3031

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Målt $M_V$ m <sup>2</sup> K/W	Fast etter NS $m_j+m_u$ + $M_{kl}$ m <sup>2</sup> K/W	Målt, korrigert $M_T$ m <sup>2</sup> K/W	Beregnet <b>nominelle</b> data $k_m$ W/m <sup>2</sup> K	Beregnet <b>nominelle</b> data $M_T$ m <sup>2</sup> K/W	$k_b$ W/m <sup>2</sup> K	Avvik %
1.1	205 100	Glava-A plater tre	2.611	0.323	2.934	0.341	2.635	0.380	11.4
1.2	206 100	Rockwool-A tre	2.605	"	2.928	0.342	2.635	0.380	11.1
1.3	207 100	Rockwool Vaflex tre	2.465	"	2.788	0.359	2.405	0.416	15.9
1.4	208 100+50	Rockwool-A +EPS tre	3.544	"	3.867	0.259	3.685	0.271	4.6
1.5	212 100+50	Glava-A matter tre	3.594	"	3.917	0.255	3.644	0.274	7.5
1.6	214 100+50	Glava-B matter tre	3.562	"	3.885	0.257	3.382	0.296	15.2
1.7	210 150	Rockwool-A tre	3.748	"	4.071	0.246	3.771	0.265	7.7
1.8	216 50+150	Rockwool-A tre	4.787	"	5.110	0.196	4.813	0.208	6.1
1.9	215 100+100	Glava-A pl. I-profil	4.740	"	5.063	0.198	5.105	0.196	-1.0
1.10	218 150+150	Glava-A pl. I-profil	6.911	"	7.234	0.138	7.539	0.133	-3.6
2.1	213 145	Rockwool-A stål	2.850	"	3.173	0.315			
2.2	211 150	Rockwool-A stål	3.110	"	3.433	0.291	3.084'	0.324'	13.3
"	" "	med stålpl.kledning	3.100	0.255	3.355	0.298	3.016'	0.332'	11.4
2.3	217 100+100	Rockwool-A stål	3.859	0.323	4.182	0.239	3.951'	0.253'	5.9
3.1	209 75	PUR Multielement	3.232	"	3.555	0.281	2.269	0.441	56.9
3.2	221 120	EPS Betong	1.546	0.170	1.716	0.583	1.871'	0.537'	-7.9
3.3	222 160	Rockwool Betong	1.590	"	1.760	0.568	1.966'	0.509'	-10.4
4.1	220 50+190	PUR, Leca Isoblokk	2.908	"	3.072	0.326	2.132	0.469	43.9

## Symbolforklaring:

- $m_j$  = innvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_V$  = veggens varmemotstand eks.  $m_j$ ,  $m_u$  og  $M_{kl}$   
 $M_{kl}$  = varmemotstand for luftspalte og kledning  
 $m_u$  = utvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_T$  = veggens totale varmemotstand  
 $k_m$  = målt varmegjennomgangskoeffisient  
 $k_b$  = beregnet varmegjennomgangskoeffisient  
' = beregnet med EDB-program for flerdim.varmestrøm

Tabell 6b

Sammenligning mellom  
**målte, korrigerte** verdier uten sikkerhetspåslag, og  
**beregnete** verdier ut fra **målte** dimensjoner og  $\lambda$ -verdier

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Målt $M_v$ $m^2K/W$	Fast etter NS $m_i+m_u$ $+M_{kl}$ $m^2K/W$	Målt, korrigert $M_T$ $m^2K/W$	Beregnet, <b>målte</b> data $k_m$ $W/m^2K$	Beregnet, <b>målte</b> data $k_b$ $m^2K/W$	Beregnet, <b>målte</b> data $k_b$ $W/m^2K$	Avvik $k_b - k_m$ $k_m$ %	
1.1	205	100	Glava-A plater tre	2.611	0.323	2.934	0.341	3.097	0.323	-5.3
1.2	206	100	Rockwool-A tre	2.605	"	2.928	0.342	3.032	0.330	-3.5
1.3	207	100	Rockwool Vaflex tre	2.465	"	2.788	0.359	2.780	0.360	0.3
1.4	208	100+50	Rockwool-A +EPS tre	3.544	"	3.867	0.259	4.142	0.241	-6.9
1.5	212	100+50	Glava-A matter tre	3.594	"	3.917	0.255	4.230	0.236	-7.5
1.6	214	100+50	Glava-B matter tre	3.562	"	3.885	0.257	3.923	0.255	-0.8
1.7	210	150	Rockwool-A tre	3.748	"	4.071	0.246	4.257	0.235	-4.5
1.8	216	50+150	Rockwool-A tre	4.787	"	5.110	0.196	5.508	0.182	-7.1
1.9	215	100+100	Glava-A pl. I-profil	4.740	"	5.063	0.198	5.893	0.170	-14.1
1.10	218	150+150	Glava-A pl. I-profil	6.911	"	7.234	0.138	8.358	0.120	-13.0
2.1	213	145	Rockwool-A stål	2.850	"	3.173	0.315			
2.2	211	150	Rockwool-A stål	3.110	"	3.433	0.291	3.260'	0.307'	5.5
"	"	"	med stålpl.kledning	3.100	0.255	3.355	0.298	3.192'	0.313'	5.0
2.3	217	100+100	Rockwool-A stål	3.859	0.323	4.182	0.239	4.292'	0.233'	-2.5
3.1	209	75	PUR Multielement	3.232	"	3.555	0.281	3.122	0.320	13.9
3.2	221	120	EPS Betong	1.546	0.170	1.716	0.583	1.956'	0.511'	-12.3
3.3	222	160	Rockwool Betong	1.590	"	1.760	0.568	2.342'	0.427'	-24.8
4.1	220	50+190	PUR, Leca Isoblokk	2.908	"	3.072	0.326	3.079	0.325	-0.3

Symbolforklaring:

- $m_i$  = innvendig varmeovergangsmotstand
- $M_v$  = veggens varmemotstand eks.  $m_i$ ,  $m_u$  og  $M_{kl}$
- $M_{kl}$  = varmemotstand for luftspalte og kledning
- $m_u$  = utvendig varmeovergangsmotstand
- $M_T$  = veggens totale varmemotstand
- $k_m$  = målt varmegjennomgangskoeffisient
- $k_b$  = beregnet varmegjennomgangskoeffisient
- ' = beregnet med EDB-program for flerdim. varmestrøm

Tabell 7

**Praktiske varmemotstander  $R_T$ , og varmegjennomgangstall  $U_p$** , basert på hot-box-målingene.  $U_m$  inneholder faste verdier for overgangsmotstander og eventuell kledning.

Påslaget er beregnet etter de foreslåtte reglene foran og ivaretar avvik mellom  $\lambda_p$  og målt  $\lambda_{10}$  samt avvik mellom nominell og målt isolasjonstykkel for prøveveggen. Inngangsverdiene er tatt fra tabellene 4a og 4b.

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Målt varmegjennomgang		Påslag		Praktiske verdier basert på måling	
			$U_m$ W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	%	$R_T$ m <sup>2</sup> K/W	$U_p$ W/m <sup>2</sup> K	
1.1	205 100	Glava-A plater tre	0.341	0.038	11.1	2.642	0.379	
1.2	206 100	Rockwool-A tre	0.342	0.029	8.5	2.699	0.370	
1.3	207 100	Rockwool Vaflex tre	0.359	0.027	7.5	2.592	0.386	
1.4	208 100+50	Rockwool-A +EPS tre	0.259	0.018	7.0	3.613	0.277	
1.5	212 100+50	Glava-A matter tre	0.255	0.021	8.3	3.617	0.276	
1.6	214 100+50	Glava-B matter tre	0.257	0.038	14.7	3.387	0.295	
1.7	210 150	Rockwool-A tre	0.246	0.016	6.4	3.826	0.261	
1.8	216 50+150	Rockwool-A tre	0.196	0.014	6.9	4.779	0.209	
1.9	215 100+100	Glava-A pl. I-profil	0.198	0.017	8.7	4.656	0.215	
1.10	218 150+150	Glava-A pl. I-profil	0.138	0.008	5.8	6.838	0.146	
2.1	213 145	Rockwool-A stål	0.315	0.017	5.3	3.013	0.332	
2.2	211 150	Rockwool-A stål	0.291	0.014	4.9	3.271	0.306	
"	"	med stålpl.kledning	0.298	0.015	5.0	3.195	0.313	
2.3	217 100+100	Rockwool-A stål	0.239	0.015	6.1	3.942	0.254	
3.1	209 75	PUR Multielement	0.281	0.102	36.4	2.607	0.384	
"	"	"	0.281	0.030'	10.7'	3.212'	0.311'	
3.2	221 120	EPS Betong	0.583	0.013	2.1	1.680	0.595	
3.3	222 160	Rockwool Betong	0.568	0.020	3.4	1.701	0.588	
4.1	220 50+190	PUR, Leca Isoblokk	0.326	0.203	62.6	1.893	0.528	
"	"	"	0.326	0.121'	37.3'	2.243'	0.446'	

Symbolforklaring:  $U_m$  = målt varmegjennomgangstall, korrigeret med faste verdier fra NS for overgangsmotstander og eventuell kledning  
 $R_T$  = total varmemotstand luft til luft basert på måling  
 $U_p$  = praktisk varmegjennomgangskoeffisient basert på måling  
' = orienterende verdier som gjelder i tilfellet  
p for PUR er 0.025 i stedet for 0.032

Tabell 8a Innlagte **isoleringsfeil**, vegg 1.7  
måleverdier ved forskjellige isoleringsfeil  
sammenlignet med måleverdier for feilfri utførelse

Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Målt $M_V$ $m^2K/W$	Fast etter NS $m_i+m_u$ $+M_{kl}$ $m^2K/W$	Målt, korrigert $M_T$ $m^2K/W$	Avvik fra feilfri utførelse $k_m$ $W/m^2K$	%
1.7	227.1	Rockwool-A 150 Bindingsverk av tre 36 mm x 145 mm Tilnærmet feilfri utførelse	3.834	0.323	4.157	0.240	-
1.7	227.2	Isolasjonen dyttet inn 30 - 40 mm ved alle stenderne	3.695	"	4.018	0.248	+3.4
1.7	227.3	Alle isolasjonsplatene slur- vete tilskåret og inndyttet ved den ene kanten av alle platene	3.328	"	3.651	0.273	+13.9
1.7	227.4	En gjennomgående vertikal glippe, 50 mm bred og 1150 mm høy, bare ved en plate	3.581	"	3.904	0.256	+6.5
1.7		Anslått verdi hvis det hadde vært en slik glippe ved alle stenderne				0.360	+50

## Symbolforklaring:

- $m_i$  = innvendig varmeovergangsmotstand
- $M_V$  = veggens varmemotstand eks.  $m_i$ ,  $m_u$  og  $M_{kl}$
- $M_{kl}$  = varmemotstand for luftspalte og kledning
- $m_u$  = utvendig varmeovergangsmotstand
- $M_T$  = veggens totale varmemotstand
- $k_m$  = målt varmegjennomgangskoeffisient
- $k_b$  = beregnet varmegjennomgangskoeffisient

Tabell 8b Innlagte **isoleringsfeil**, vegg 1.9  
måleverdier ved forskjellige isoleringsfeil  
sammenlignet med måleverdier for feilfri utførelse

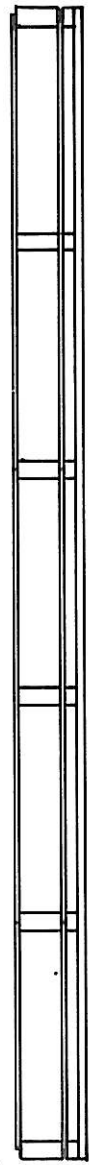
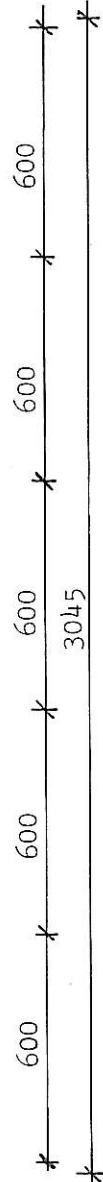
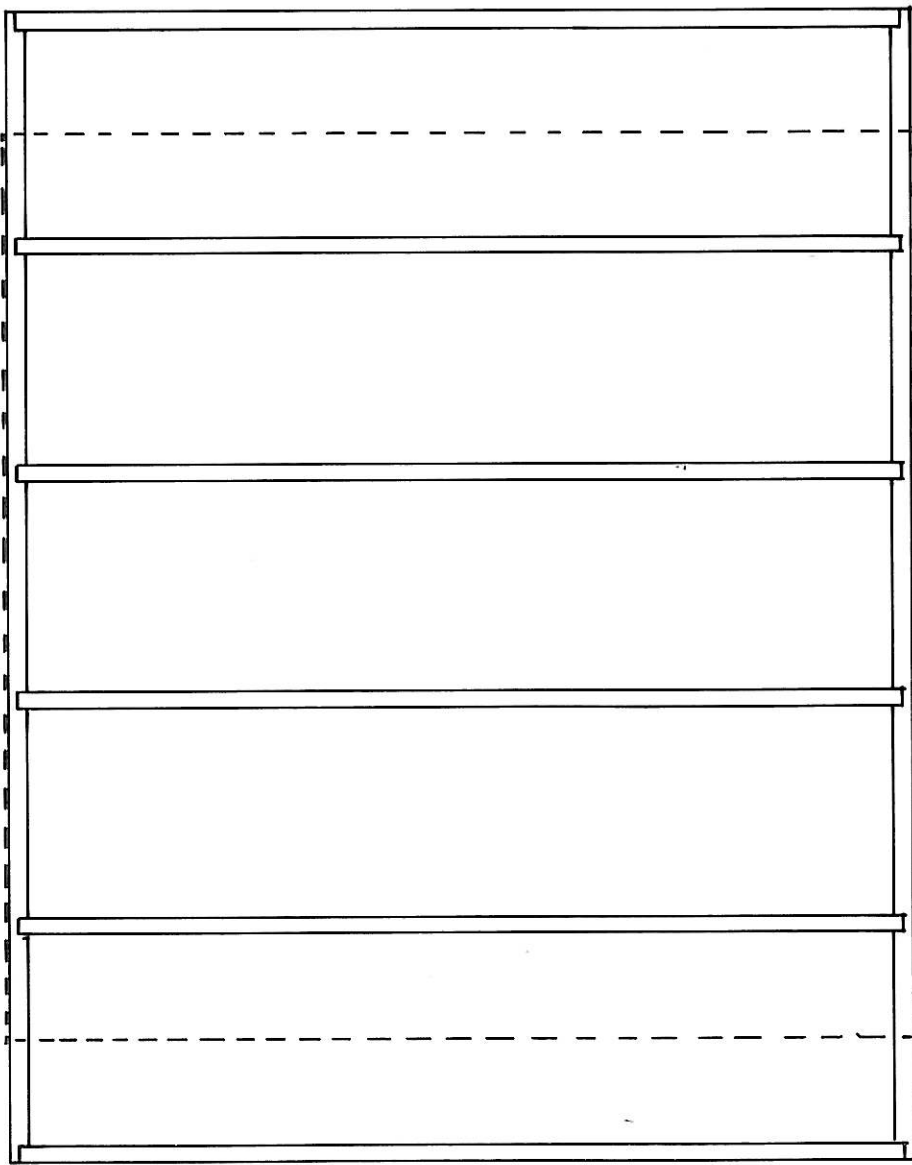
Vegg nr.	Måle nr.	Veggbeskrivelse	Målt $M_V$ m <sup>2</sup> K/W	Fast etter NS $m_i+m_u$ + $M_{kl}$ m <sup>2</sup> K/W	Målt, korrigert $M_T$ m <sup>2</sup> K/W	$k_m$ W/m <sup>2</sup> K	Avvik fra feilfri utførelse %
1.9	230.1	Glava A 100+100 Bindingsverk av I-profil 45 mm x 198 mm tilnærmet feilfri utførelse	4.877	0.323	5.200	0.192	-
1.9	230.2	Isolasjonen dyttet inn 50 - 110 mm ved alle stendere og sviller	4.591	"	4.914	0.203	+5.8
1.9	230.3	Glava I-strimmel tatt ut av alle I-profilene	4.553	"	4.876	0.205	+6.6
1.9	230.4	Det indre isolasjonslaget byttet med 75 mm tykke plater slik at det ble en 25 mm tykk luftspalte mellom innvendig kledning og isolasjon	4.473	"	4.796	0.208	+8.4
1.9	230.5	De øverste platene skjøvet opp mot toppsvilla slik at det ble en 25 mm bred gjennomgående horisontal glippe i isolasjonen midt i feltet	4.932	"	5.255	0.190	-1.0
1.9	230.6	Samme som 230.5 (kontroll)	4.895	"	5.218	0.191	-0.3
1.9	230.7	Tilnærmet feilfri utførelse samme som 230.1 (kontroll)	4.843	"	5.166	0.193	+0.7

## Symbolforklaring:

- $m_i$  = innvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_V$  = veggens varmemotstand eks.  $m_i$ ,  $m_u$  og  $M_{kl}$   
 $M_{kl}$  = varmemotstand for luftspalte og kledning  
 $m_u$  = utvendig varmeovergangsmotstand  
 $M_T$  = veggens totale varmemotstand  
 $k_m$  = målt varmegjennomgangskoeffisient  
 $k_b$  = beregnet varmegjennomgangskoeffisient

VEGGFELT/NBI Nr. 1.1/205

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av heltre, isolert med GLAVA A-plater



Svill  
46 x 95 (48 x 98)  
34/95 (Spikerdimensjon)  
Klemlekt  
11 x 35  
20/40 cc 150  
Dobbelfalset trepanel  
19 x 145 (19 x 148)  
28/75 cc 135  
Lekt  
22 x 45 (23 x 48)  
28/75 cc 300

Luftspalte  
23

ASFALT VINDTETT  
12  
28/45 cc 200

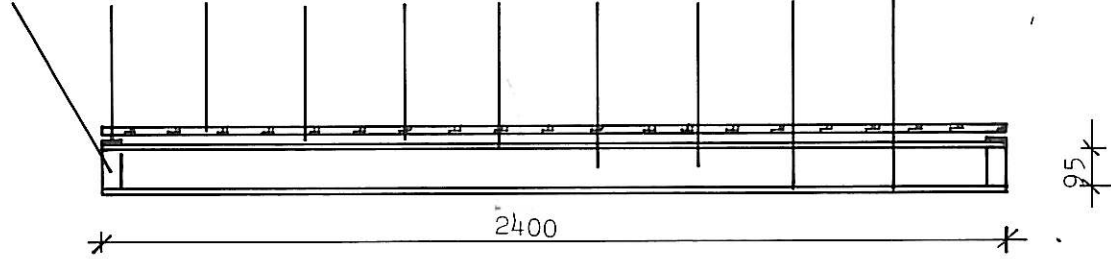
Stender  
46 x 95 (48 x 98)  
34/95

GLAVA A-plate  
95 x 554 (100 x 560)

Polyetylenfolie  
0.15

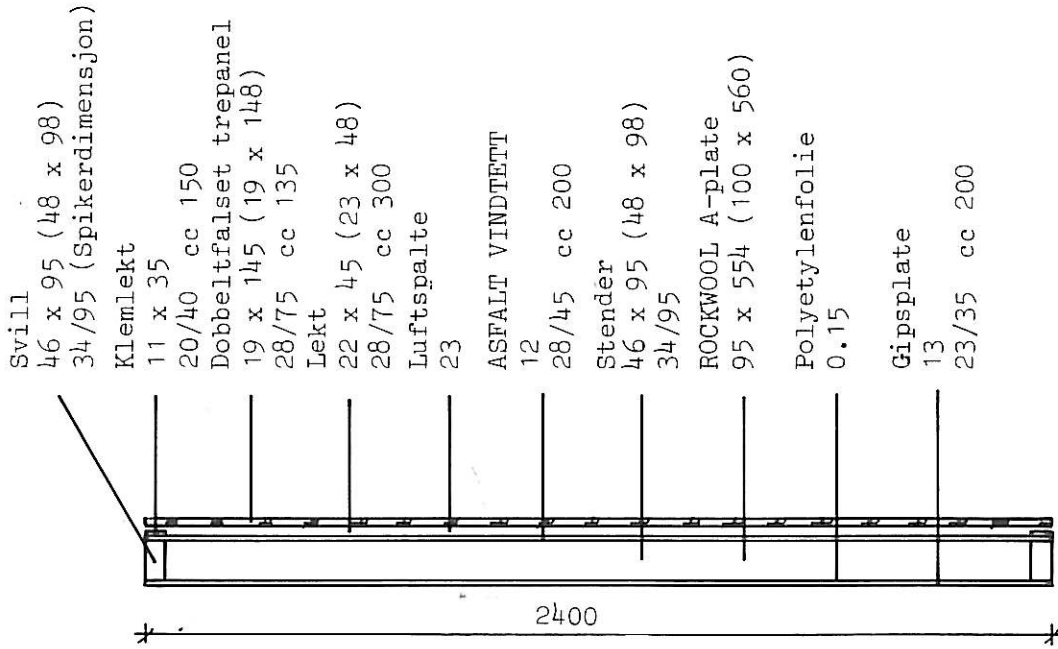
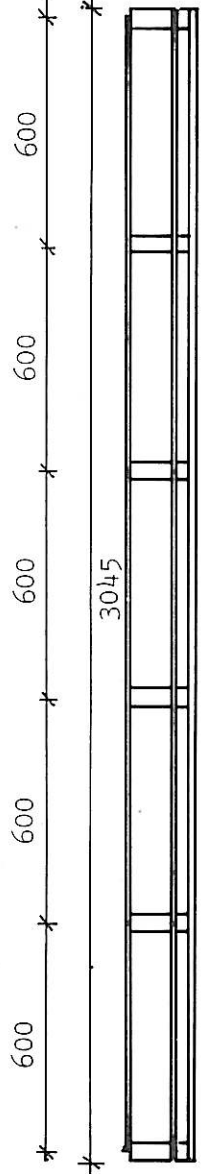
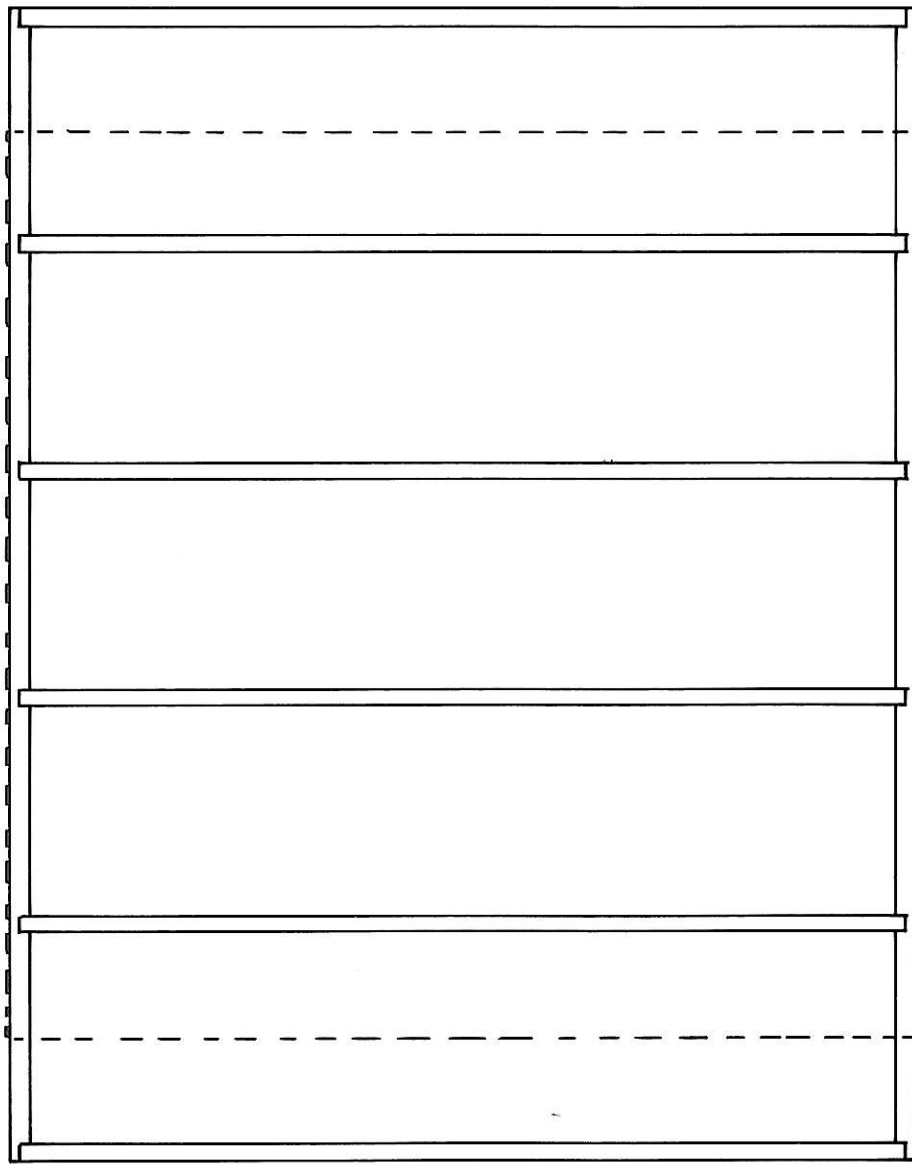
Gipsplate  
13  
23/35 cc 200

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner  
i parentes).  
Stiplet linje angir  
måleareal



VEGGFELT/NBI 1.2/206

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller og sviller av heltre, isolert med ROCKWOOL A-plater

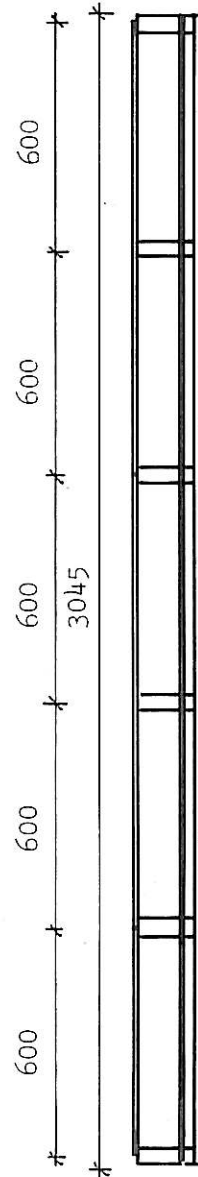
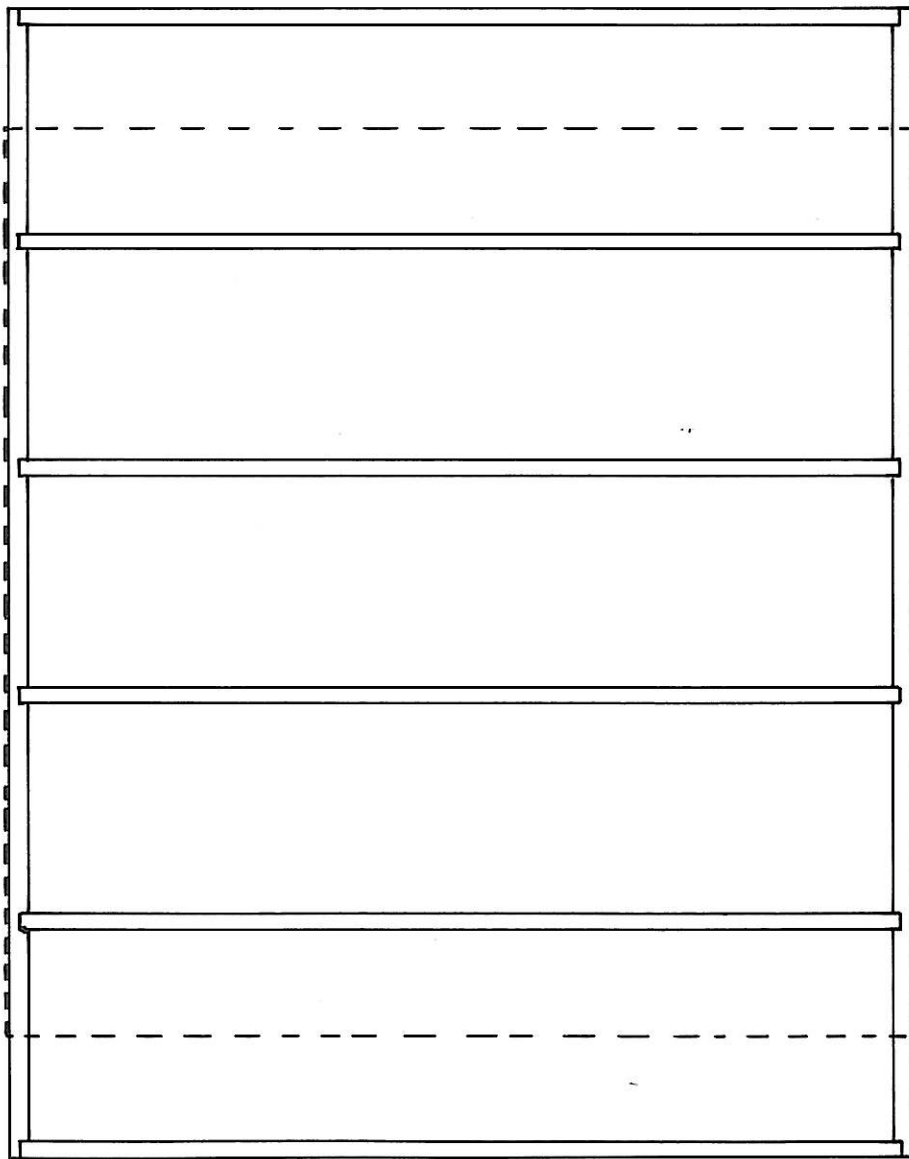


- Svill
- 46 x 95 (48 x 98)
- 34/95 (Spikerdimensjon)
- Klemlekt
- 11 x 35
- 20/40 cc 150
- Dobbeltfalsset trepanel
- 19 x 145 (19 x 148)
- 28/75 cc 135
- Lekt
- 22 x 45 (23 x 48)
- 28/75 cc 300
- Luftspalte
- 23
- ASFALT VINDTETT
- 12
- 28/45 cc 200
- Stender
- 46 x 95 (48 x 98)
- 34/95
- ROCKWOOL A-plate
- 95 x 554 (100 x 560)
- Polyetylenfolie
- 0.15
- Gipsplate
- 13
- 23/35 cc 200

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parentes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.3/207

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller og heltre, isolert med ROCKWOOL A-plater



- Svill 46 x 95 (48 x 98)
- 34/95 (Spikerdimensjon)
- Klemlekt 11 x 35
- 20/40 cc 150
- Dobbelfalset trepanel 19 x 145 (19 x 148)
- 28/75 cc 135
- Lekt 22 x 45 (23 x 48)
- 28/75 cc 300
- Luftspalte 23

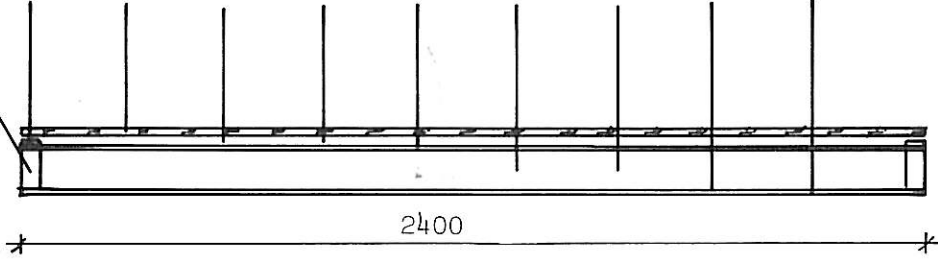
VAFLEX 600

- Stender 46 x 95 (48 x 98)
- 34/95

ROCKWOOL A-plate 95 x 554 (100 x 560)

Polyetylenfolie 0.15

- Gipsplate 13
- 23/35 cc 100



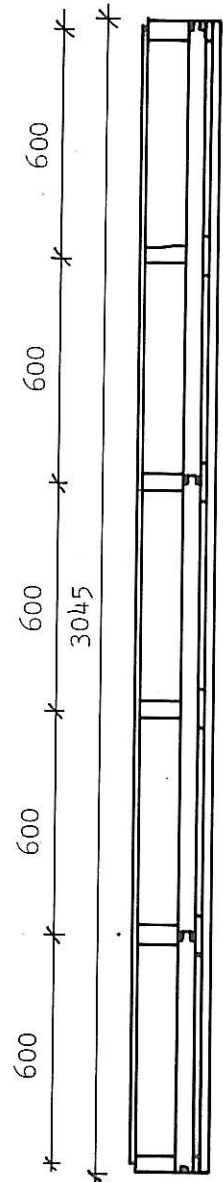
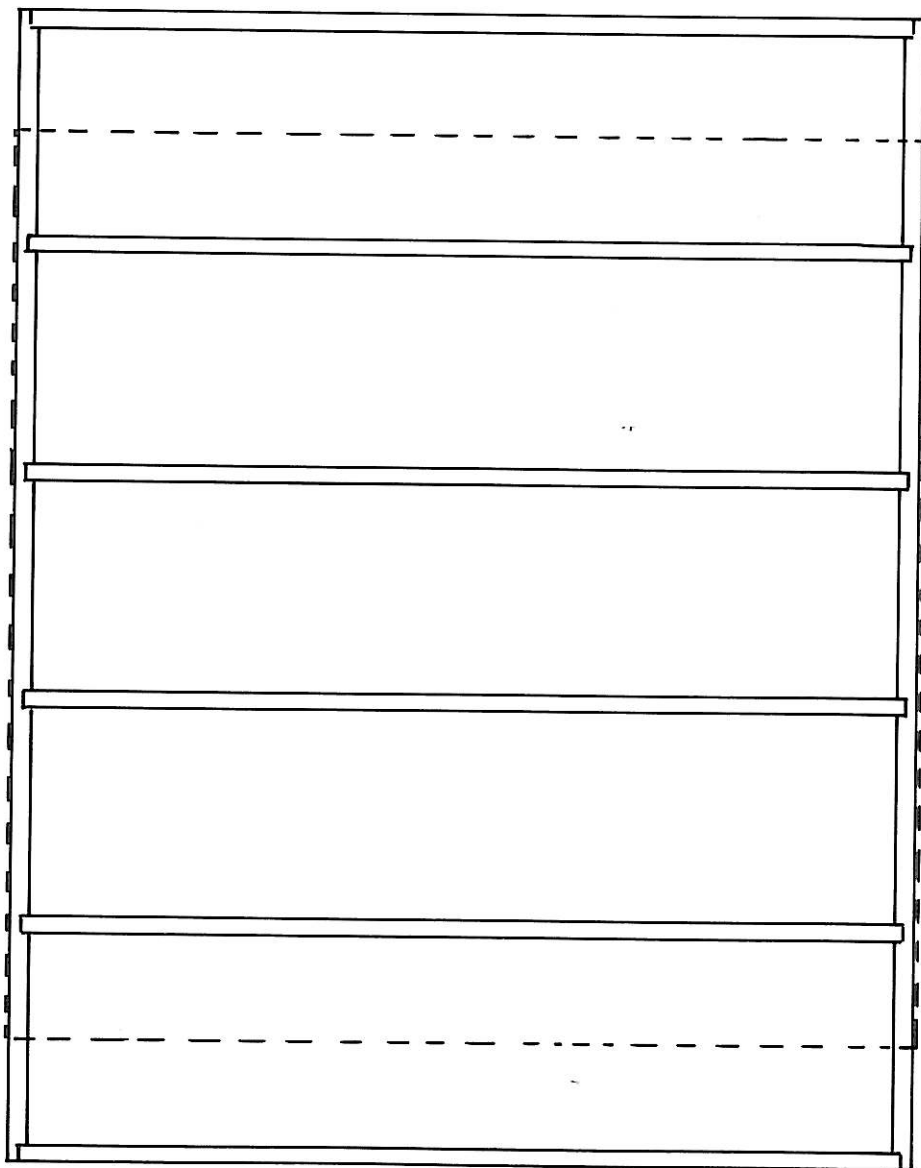
95

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parentes).  
Stiplet linje angir måleareal



VEGGFELT/NBI Nr. 1.4/208

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av heltre, isolert med ROCKWOOL A-plater og Sundolitt EPS



- Svill
- 46 x 95 (48 x 98)
- 34/95 (Spikerdimensjon)
- Klemlekt
- 11 x 35
- 20/40 cc 150
- Dobbeltfalset trepanel
- 19 x 145 (19 x 148)
- 28/75 cc 135
- rekt
- 22 x 96 (23 x 98)
- 34/125 cc 300

Luftspalte  
23

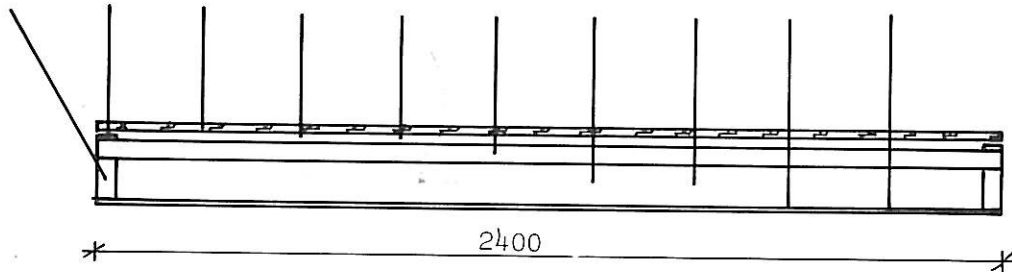
SUNDOLITT EPS  
47 (50)

Stender  
46 x 95 (48 x 98)  
34/95

ROCKWOOL A-plate  
95 x 554 (100 x 560)

Polyetylenfolie  
0.15

Gipsplate  
13  
23/35 cc 200

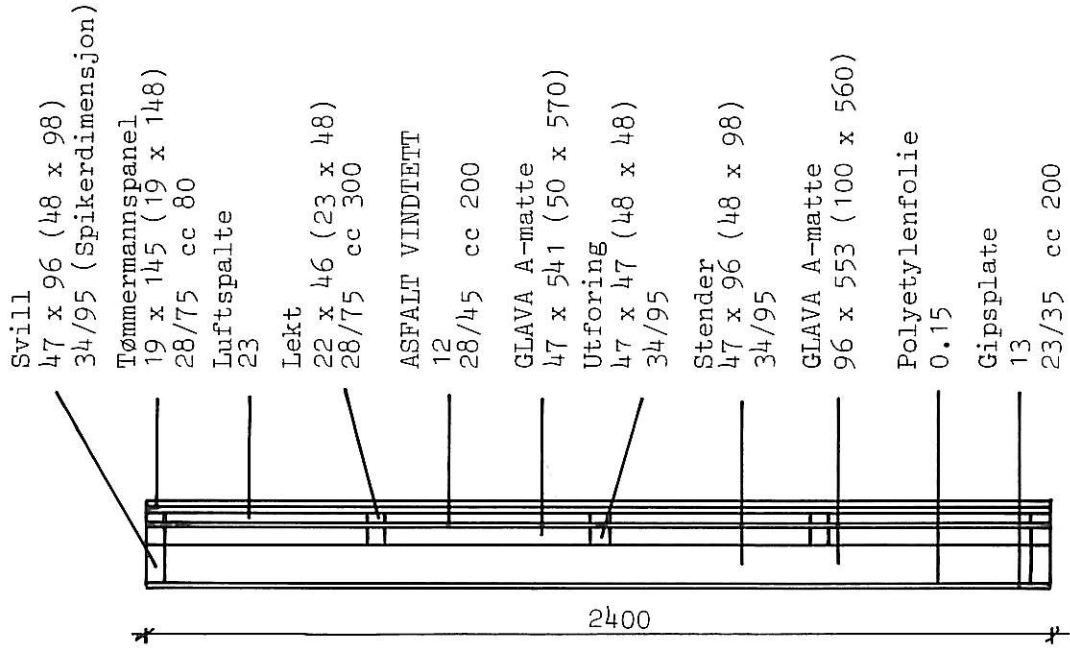
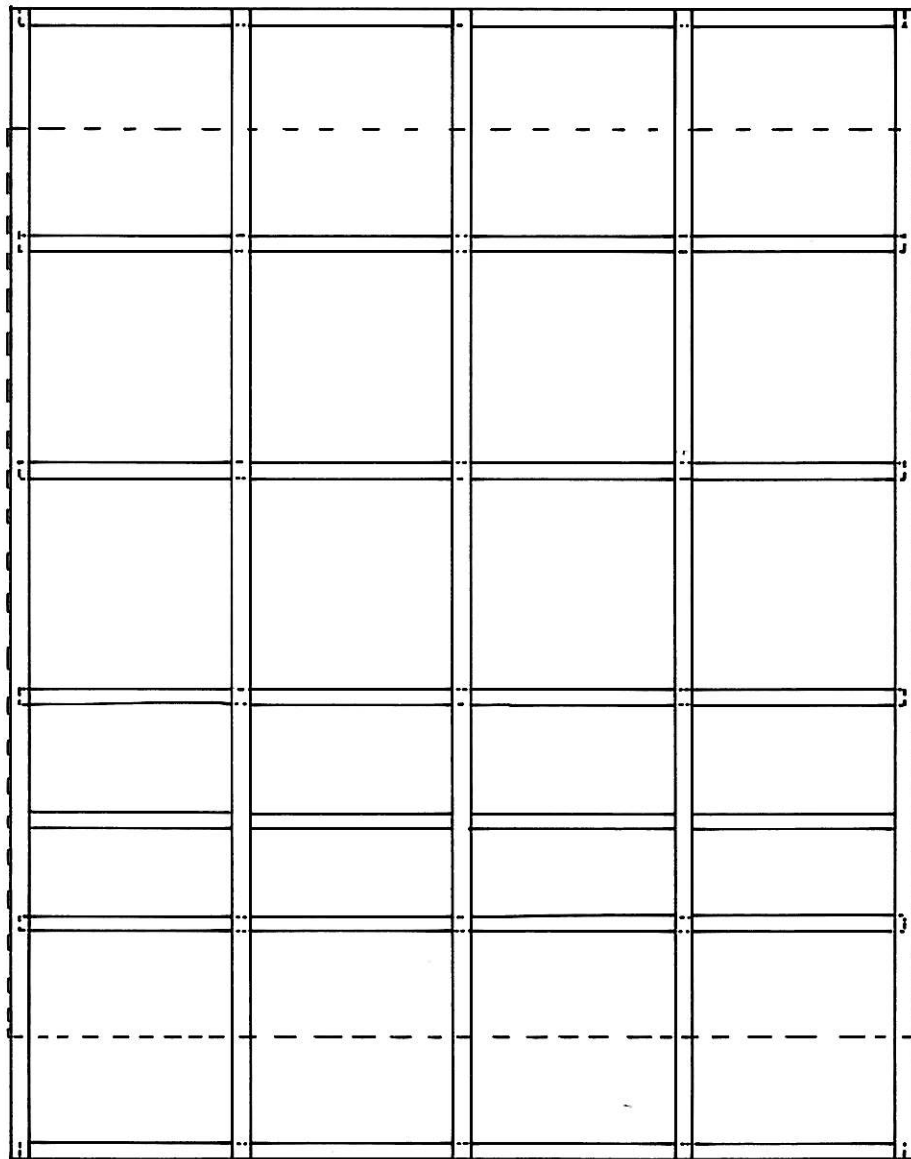


9547

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parentes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.5/212

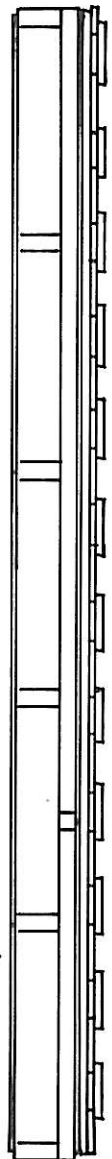
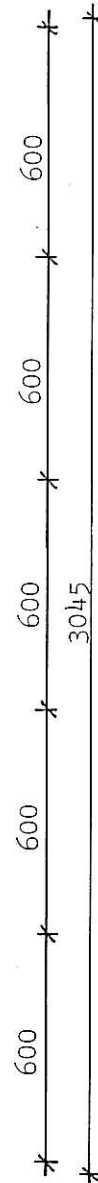
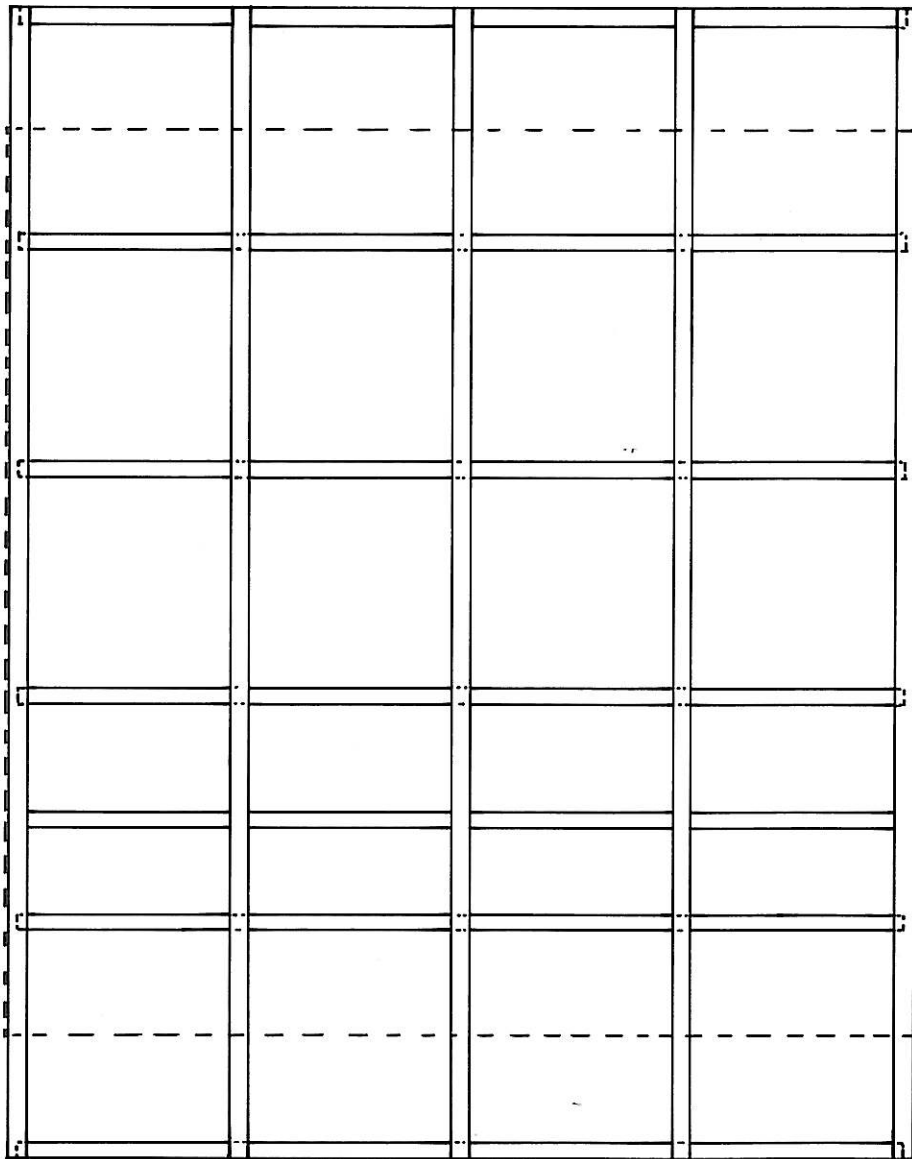
Bindingsverksvegg med utvendig utforing. Sviller, stendere og utforing av heltre, isolert med GLAVA A-matter



Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parantes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.6/214

Bindingsverksvegg med utvendig utforing. Sviller, stendere og utforing av heltre, isolert med GLAVA B-matter



Svill  
47 x 96 (48 x 98)  
34/95 (Spikerdimensjon)

Tømmermannspanel  
19 x 145 (19 x 148)  
28/75 cc 80

Luftspalte  
23

Lekt  
22 x 46 (23 x 48)  
28/75 cc 300

ASFALT VINDTETT  
12  
28/45 cc 200

GLAVA B-matte  
47 x 541 (50 x 570)

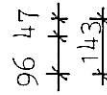
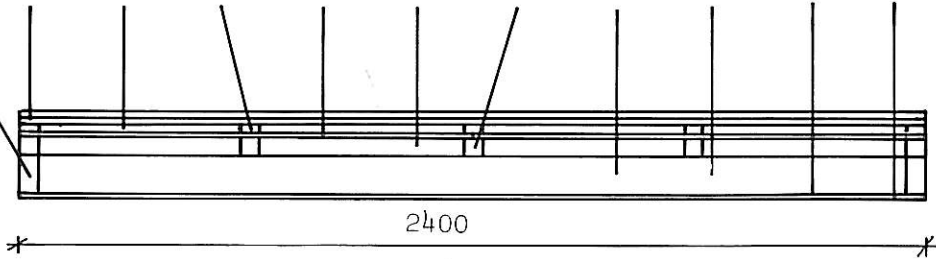
Utforing  
47 x 47 (48 x 48)  
34/95

Stender  
47 x 96 (48 x 98)  
34/95

GLAVA B-matte  
96 x 553 (100 x 560)

Polyetylenfolie  
0.15

Gipsplate  
13  
23/35 cc 200

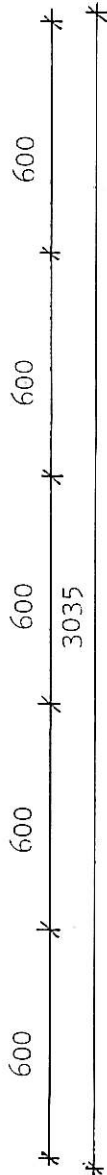
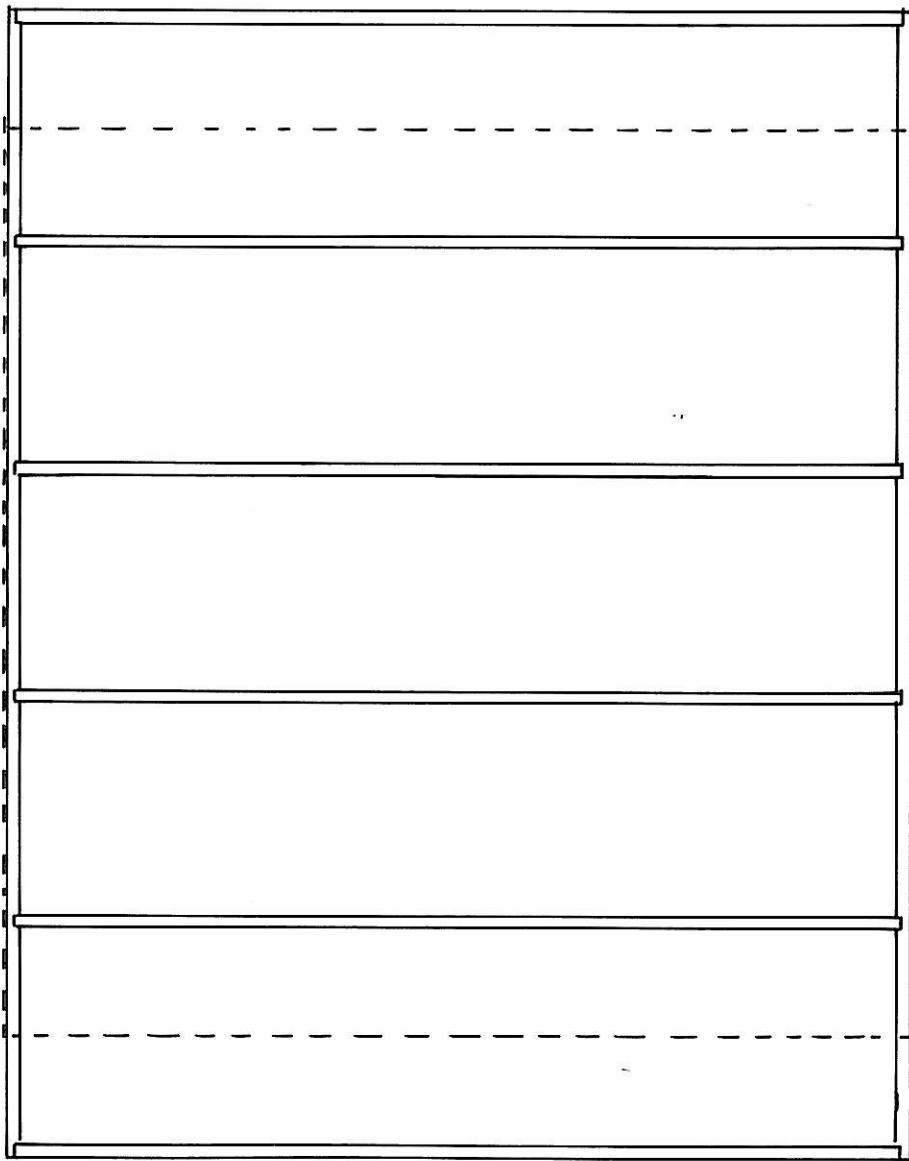
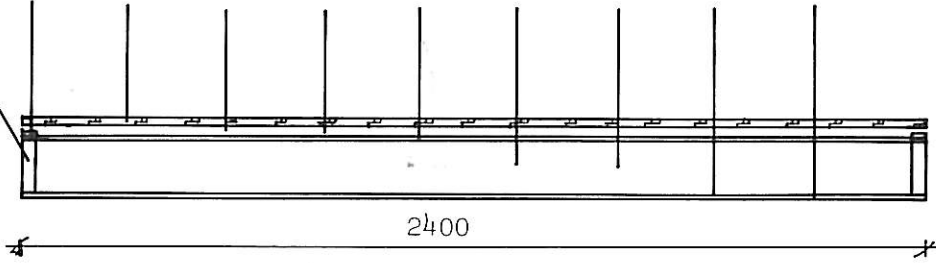


Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parantes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.7/210

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av heltre, isolert med ROCKWOOL A-plater

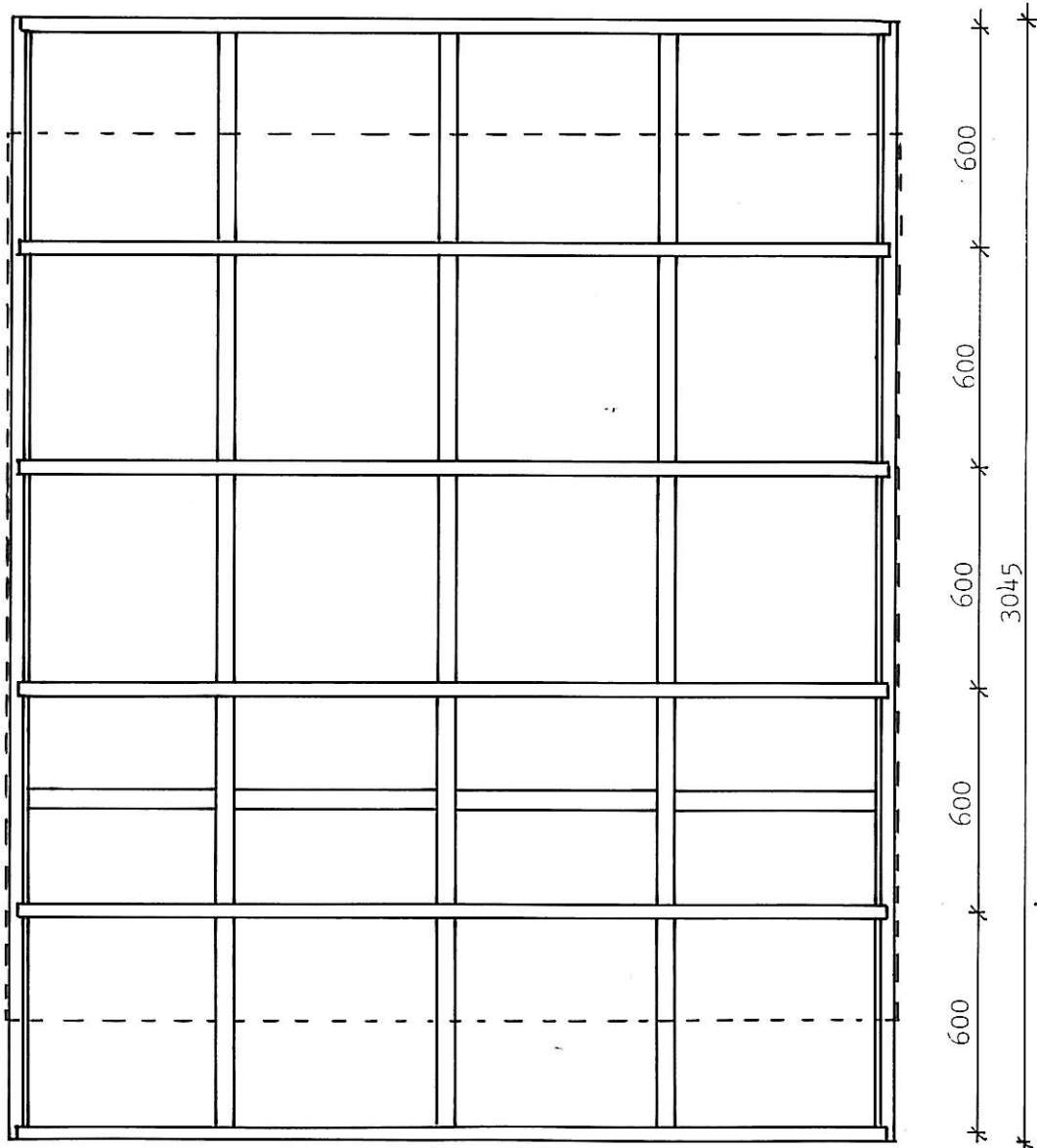
- Svill 35 x 145 (36 x 148)
- 34/95 (Spikerdimensjon)
- Klemlekt 11 x 35
- 20/40 cc 150
- Dobbeltfalsset trepanel 19 x 145 (19 x 148)
- 28/75 cc 135
- Lekt 22 x 45 (23 x 48)
- 28/75 cc 300
- Luftspalte 23
- ASFALT VINDTETT 12
- 28/45 cc 200
- Stender 35 x 145 (36 x 148)
- 34/95
- ROCKWOOL A-plate 145 x 565 (100 x 570)
- Polyetylenfolie 0.15
- Gipsplate 13
- 23/35 cc 200



Målte dimensjoner, mm.  
 (Nominelle dimensjoner i parantes).  
 Stiplet linje angir målearea

VEGGFELT/NBI Nr. 1.8/216

Bindingsverksvegg med innvendig utforing. Sviller, stendere og utforing av heltre, isolert med ROCKWOOL A-plater



- Svill
- 34 x 144 (36 x 148)
- 34/95 (Spikerdimensjon)
- Klemlekt
- 11 x 35
- 20/40 cc 150
- Dobbeltfalsset trepanel
- 19 x 145 (19 x 148)
- 28/75 cc 135
- Lekt
- 22 x 45 (23 x 48)
- 28/75 cc 300

Luftspalte  
23

ASFALT VINDETT

12  
28/45 cc 200

Stender  
34 x 144

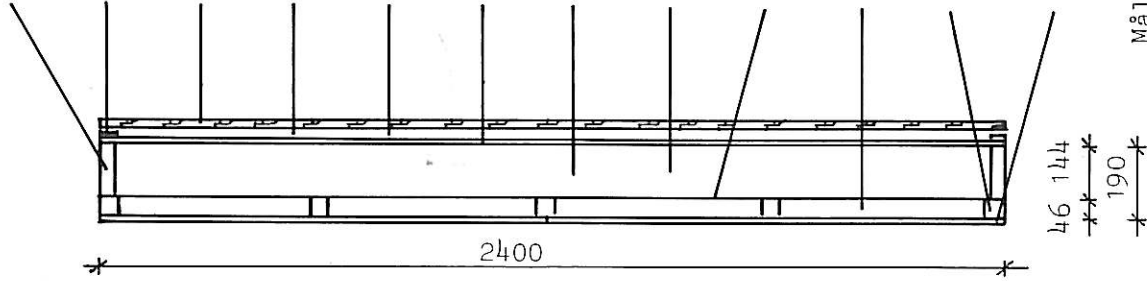
ROCKWOOL A-plate  
144 x 566 (150 x 570)

Polyetylenfolie  
0.15

ROCKWOOL A-plate  
46 x 542 (50 x 570)

Utforing  
46 x 46 (48 x 48)  
34/95

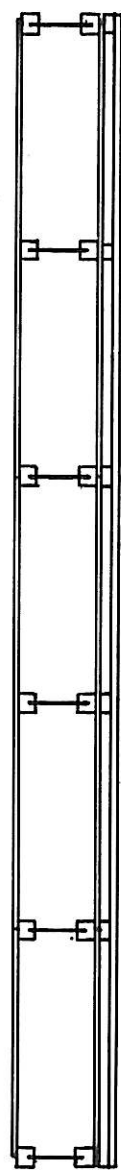
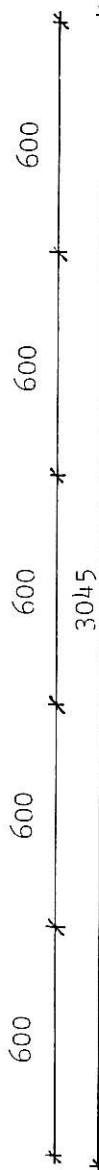
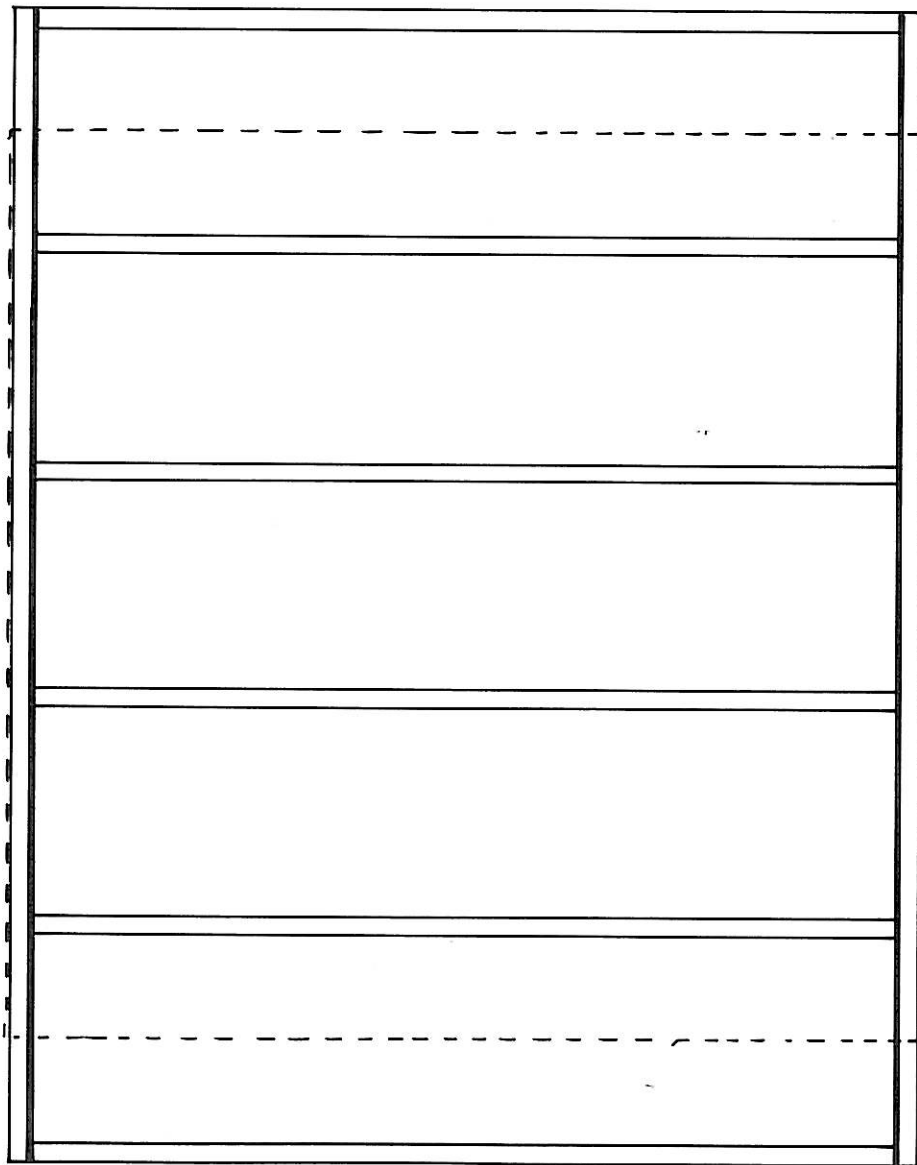
Gipsplate 13  
23 x 35 cc 200



Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parantes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.9/215

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av MASONITE I-profiler, isolert med GLAVA A-plater



MASONITE svill  
53 x 198 (53 x 200)  
34/95 (Spikerdimensjon)

Klemlekt

11 x 35

20/40 cc 150

Dobbeltsåset trepanel

19 x 145 (19 x 148)

28/75 cc 135

Lekt

22 x 45 (23 x 48)

28/75 cc 300

Luftspalte

23

ASFALT VINDETETT

12

28/45 cc 200

MASONITE stender

46 x 198 (45 x 200)

GLAVA A-plate

2 a 99 x 554 (100 x 560)

GLAVA I-strimmel

19 x 108 (20 x 110)

Polyetylenfolie

0.15

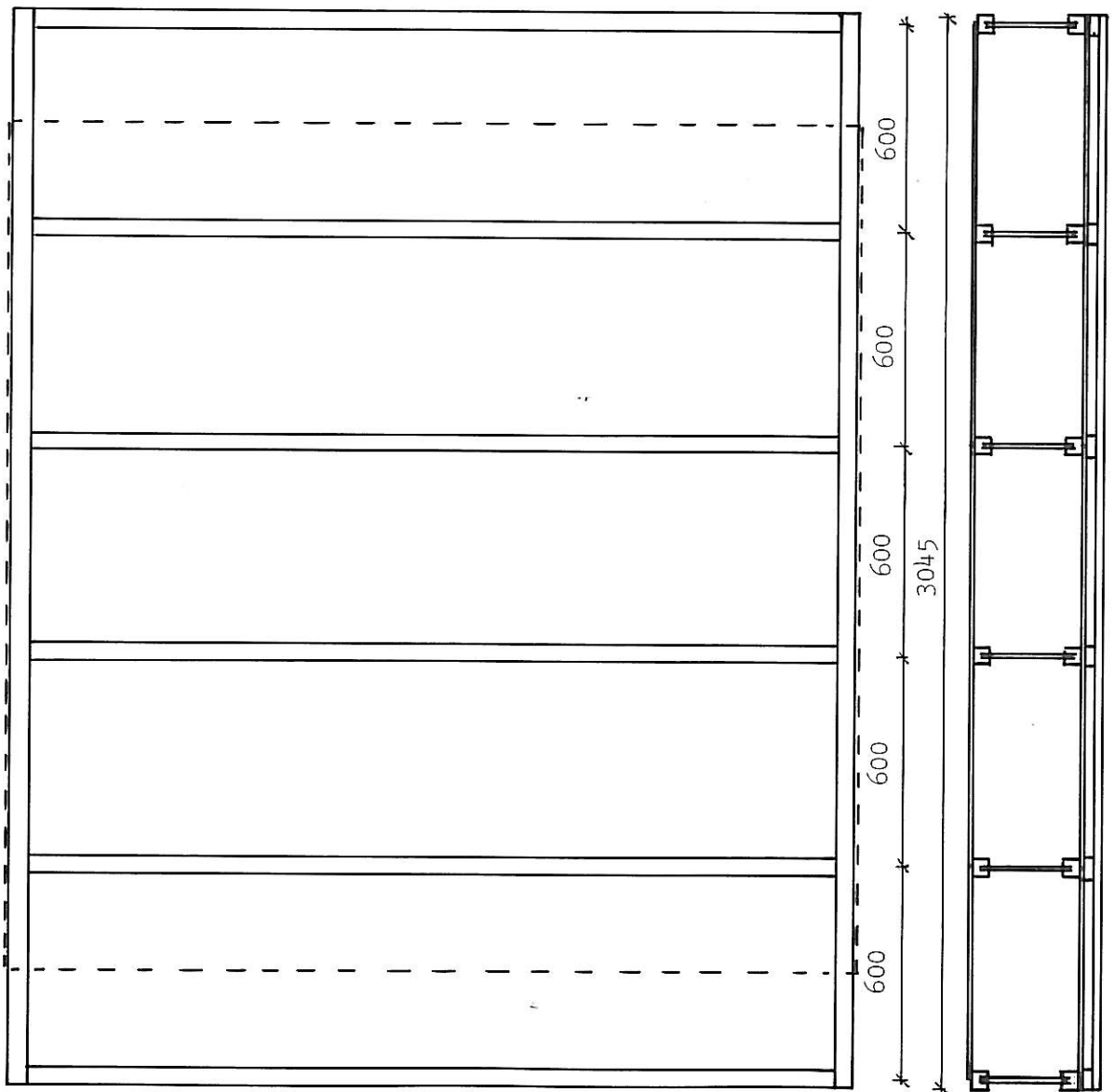
Gipsplate 13

23/35 cc 200

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner  
i parentes).  
Stiplet linje angir måle-  
areal

VEGGFELT/NBI Nr. 1.10/218

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av RANTI I-profiler, isolert med GLAVA A-plater



RAWTI svill  
45 x 300 (45 x 300)  
34/95 (Spikerdimensjon)

Klemlekt

11 x 35  
20/40 cc 150

Dobbeltfalset trepanel

19 x 145 (19 x 148)  
28/75 cc 135

Lekt

22 x 45 (23 x 48)  
28/75 cc 300

Luftspalte

23

ASFALT VINDTETT

12

28/45 cc 200

RANTI stender

45 x 300 (45 x 300)

GLAVA A-plate

2 a 150 x 555  
(150 x 570)

GLAVA I-strimmel

18 x 209 (20 x 210)

Polyetylenfolie

0.15

Gipsplate 13

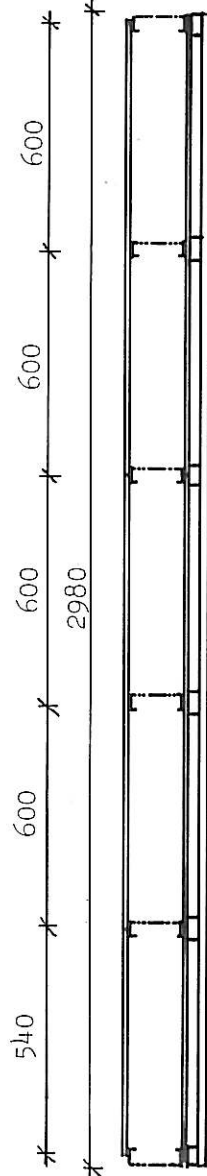
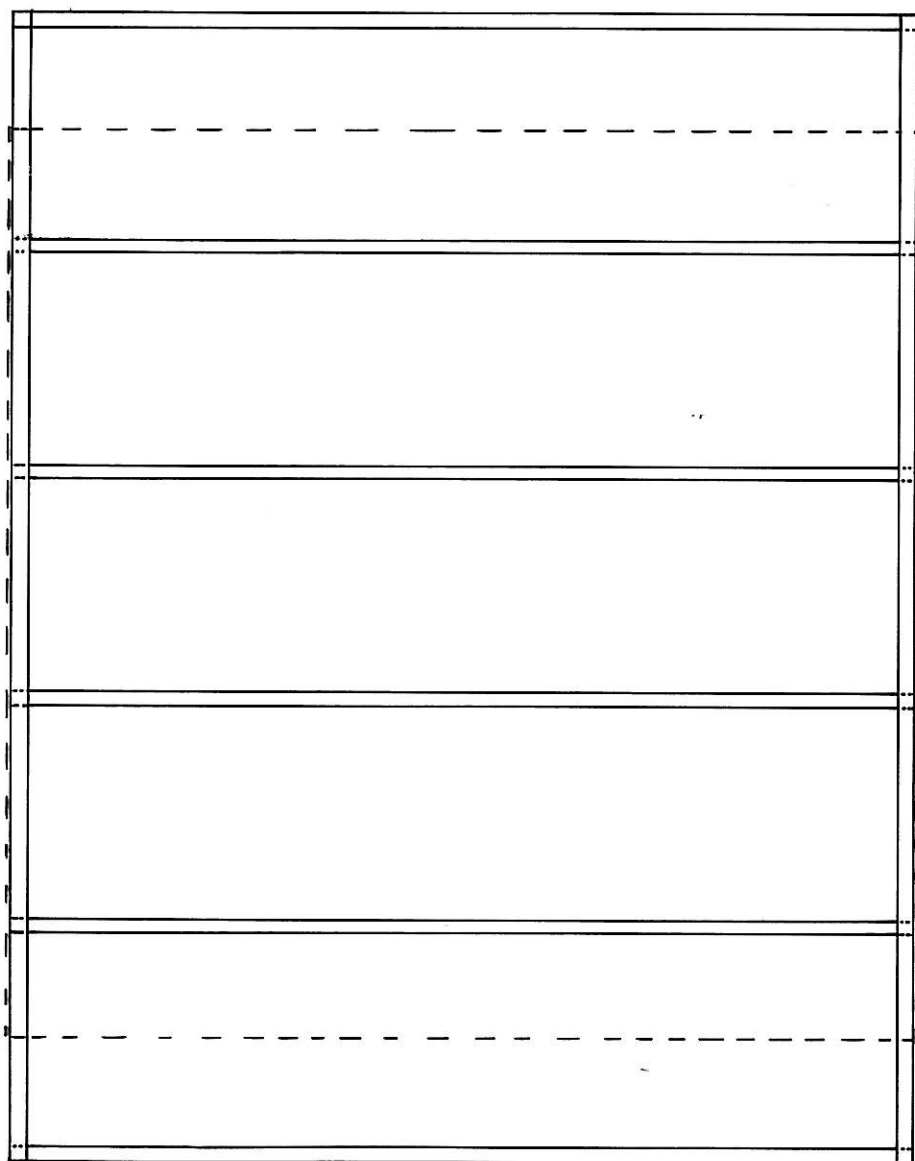
23/35 cc 200

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner  
i parentes).

Stiplet linje angir måle-  
areal

VEGGFELT/NBI Nr. 2.1/213

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller og stålplateprofiler med 2 x 3 slisserader. Isolert med ROCKWOOL A-plater



Svill  
0.9 x 40 + 147 + 40  
41/25 (Skruedimensjon)

"Klemlekt"  
11 x 35

Dobbeltfalsset trepanel  
19 x 145 (19 x 148)  
20/50 cc 135

Lekt  
22 x 45 (23 x 48)  
35/51 cc 300

Luftspalte  
23

Gipsplate og vindpapp  
9  
35/25 cc 200

Stender  
0.9 x 40 + 145 + 40

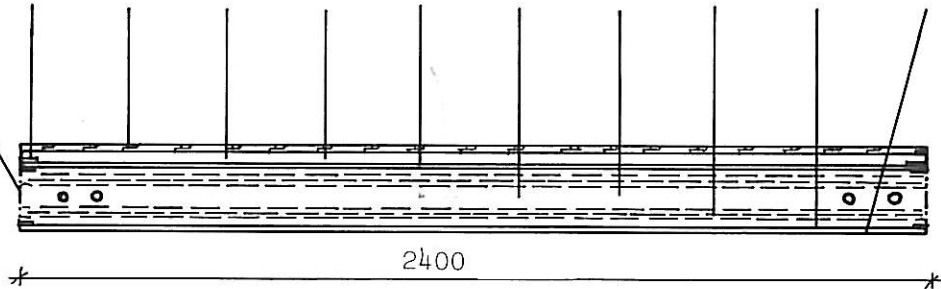
ROCKWOOL A-plate  
145 x 554 + 45  
(150 x 560 + 50)

3 + 3 rader med  
slisser

Polyetylenfolie  
0.15

SECURIT  
12

35/25 cc 200



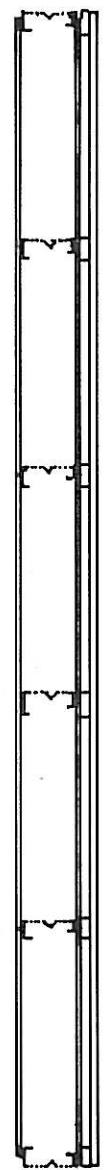
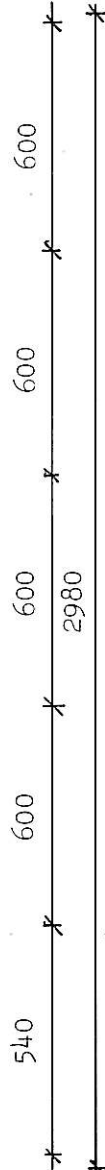
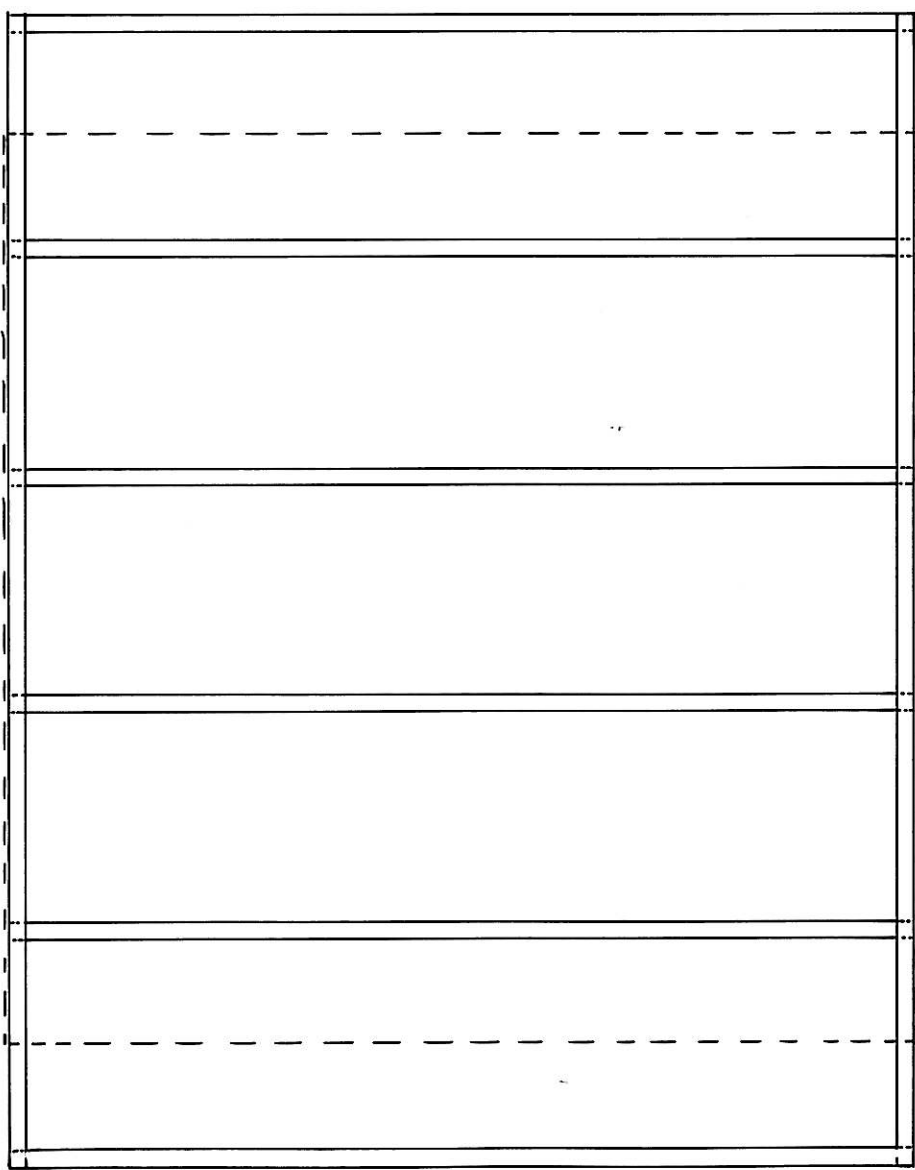
145

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i  
parantes).  
Stiplet linje angir måleareal



VEGGFELT/NBI Nr. 2.2/211 med trekledning

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av stålplateprofiler med 2 x 4 slisserader. Isolert med ROCKWOOL A-plater



Svill  
1 x 30 + 152 + 30  
41/25 (Skruedimensjon)

"Klemlekt"  
11 x 35

Dobbeltfalsset trepanel  
19 x 145 (19 x 148)  
20/50 cc 135

Lekt  
22 x 45 (23 x 48)  
35/51 cc 300

Luftspalte  
23

Gipsplate  
9  
35/25 cc 200

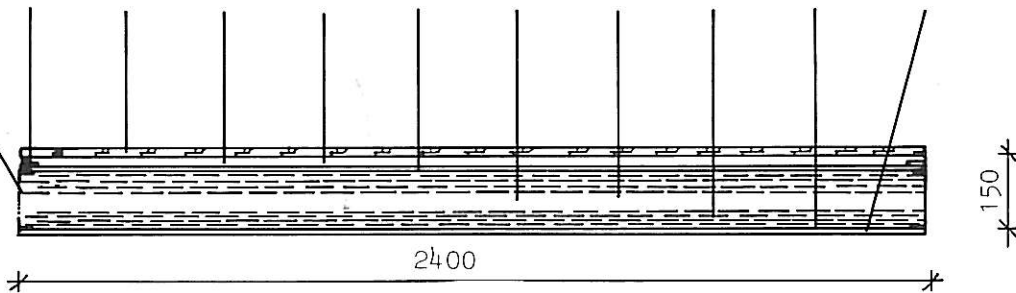
Stender  
1 x 46 + 150 + 40

ROCKWOOL A-plate  
150 x 554 + 45  
(150 x 560 + 50)

4 + 4 rader med  
slisser

Polyetylenfolie  
0.15

Gipsplate  
13  
35/25 cc 200

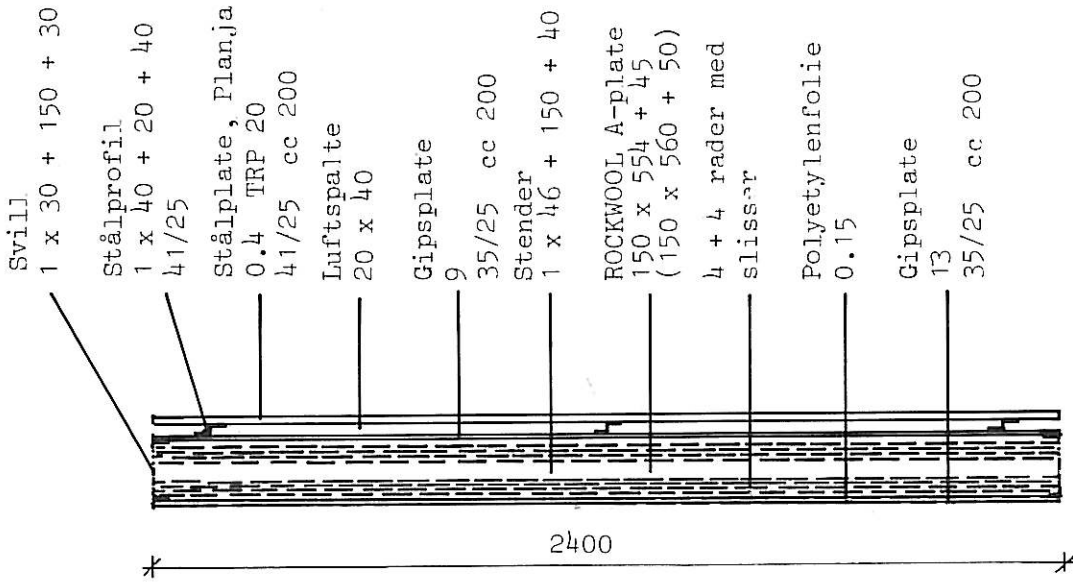
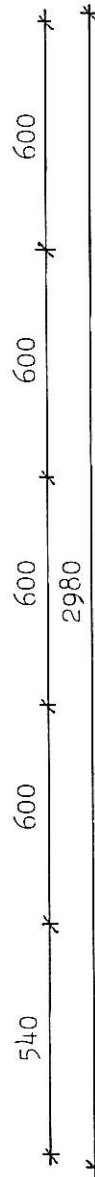
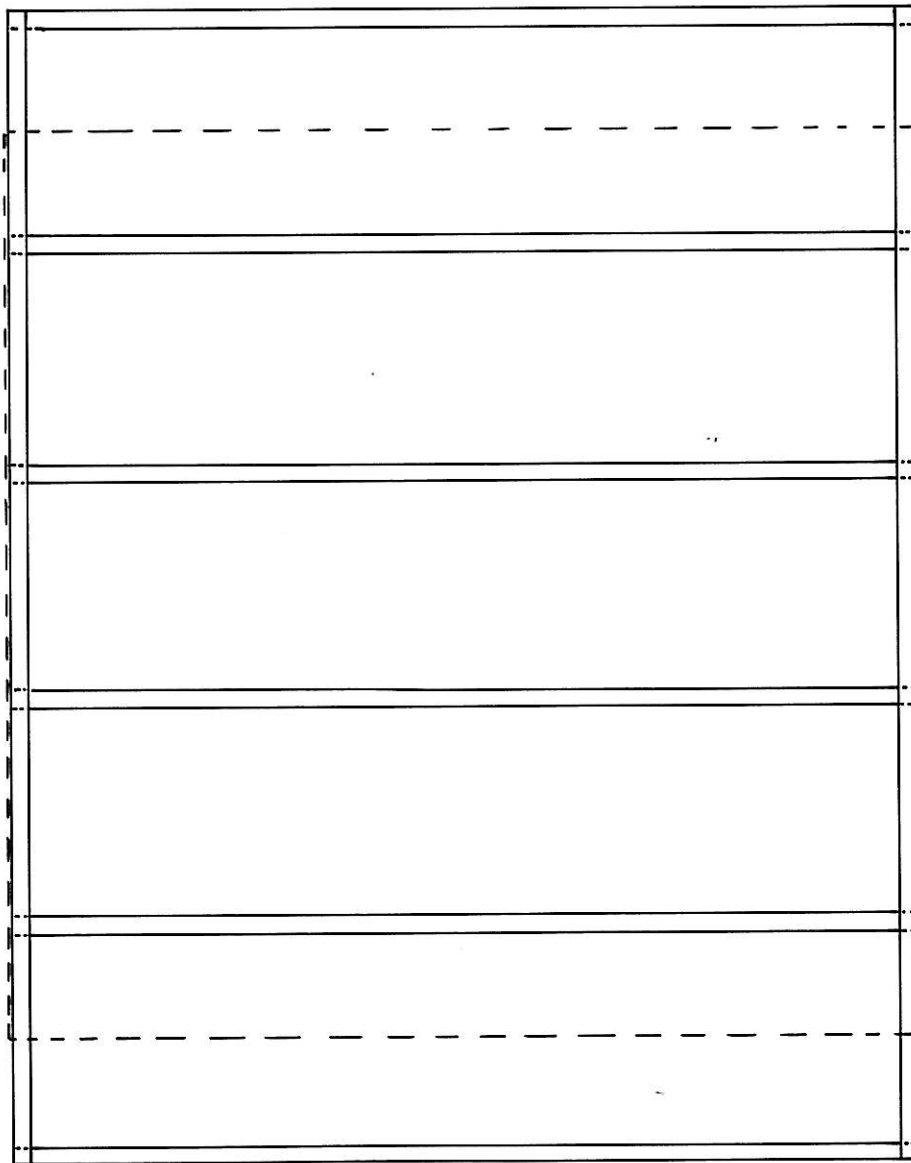


Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parantes).

Stiplet linje angir måleareal.

VEGGFELT/NBI Nr. 2.2/211 med stålplateledning

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller og stålplaterpfler med 2 x 4 slisserader. Isolert med ROCKWOOL A-plater



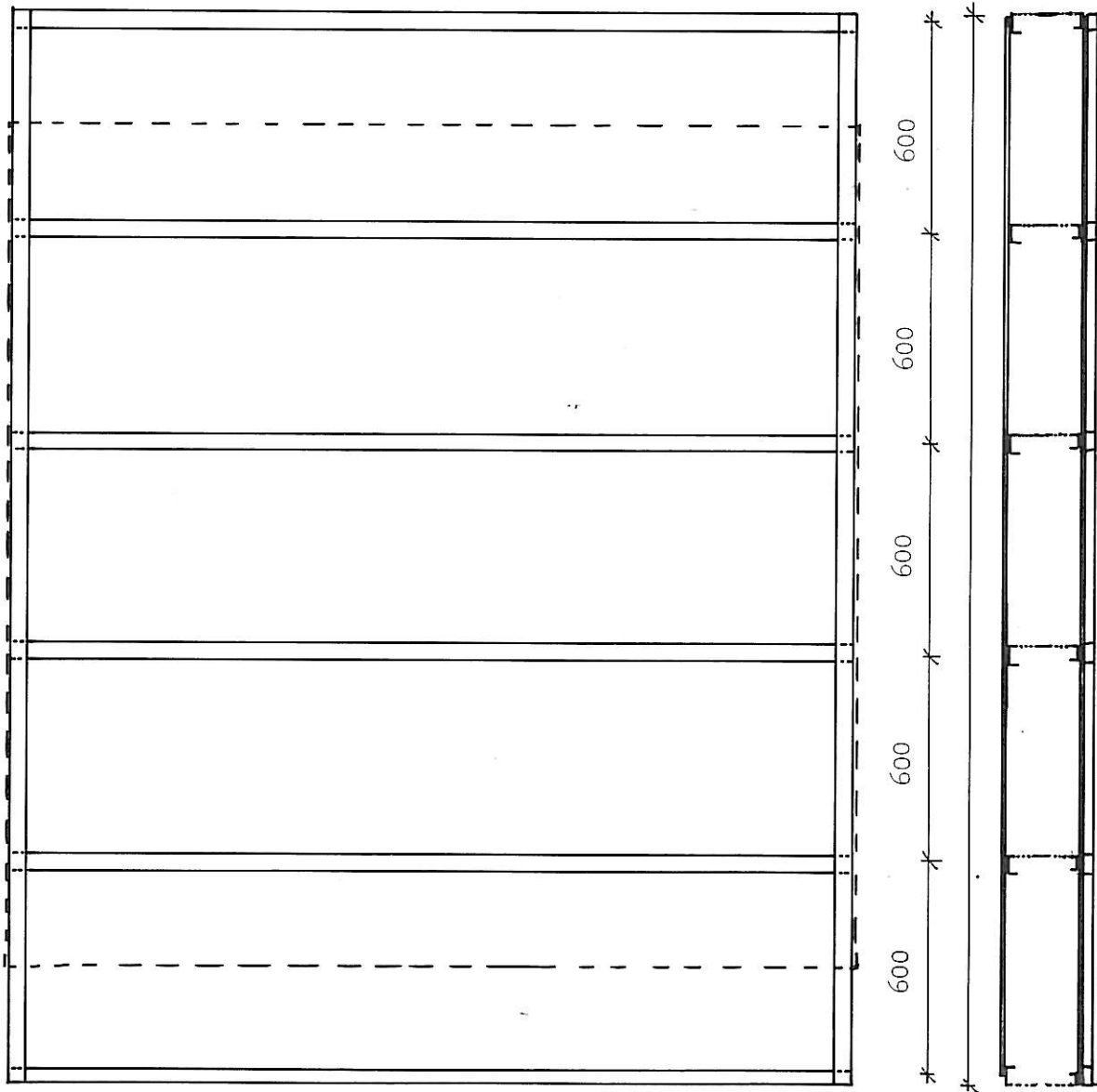
- Svill  
1 x 30 + 150 + 30
- Stålprofil  
1 x 40 + 20 + 40  
41/25
- Stålplate, Planja  
0.4 TRP 20  
41/25 cc 200
- Luftspalte  
20 x 40
- Gipsplate  
9  
35/25 cc 200
- Stender  
1 x 46 + 150 + 40
- ROCKWOOL A-plate  
150 x 55<sup>4</sup> + 45  
(150 x 560 + 50)
- 4 + 4 rader med  
slisser
- Polyetylenfolie  
0.15
- Gipsplate  
13  
35/25 cc 200



Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i parentes).  
Stiplet linje angir målearea

VEGGFELT/NBI Nr. 2.3/217 med trekledning

Enkel bindingsverksvegg med stendere og sviller av stålplateprofiler med 2 x 4 slisserader. Isolert med ROCKWOOL A-plater



Svill  
0.7 x 30 + 202 -- 30  
41/25 (Skrue dimensjon)

"Klemlekt"  
11 x 35

Dobbeltfalsset trepanel  
19 x 145 (19 x 148)  
20/50 cc 135

Lekt  
22 x 45 (23 x 48)  
35/51 cc 300

Luftspalte  
23

Gipsplate  
9  
35/25 cc 200

Stender  
0.7 x 46 + 200 + 40

ROCKWOOL A-plate  
100 + 100 x 554 + 45  
(100 + 100 x 560 + 50)

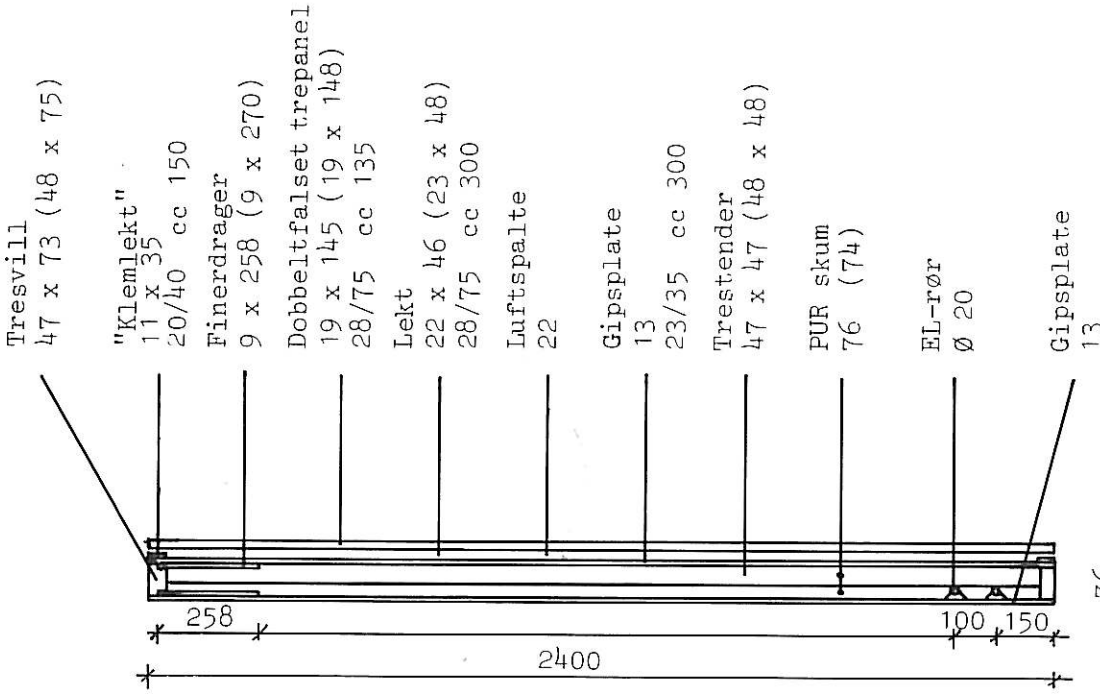
4 + 4 rader med  
slisser

Polyetylenfolie  
0.15

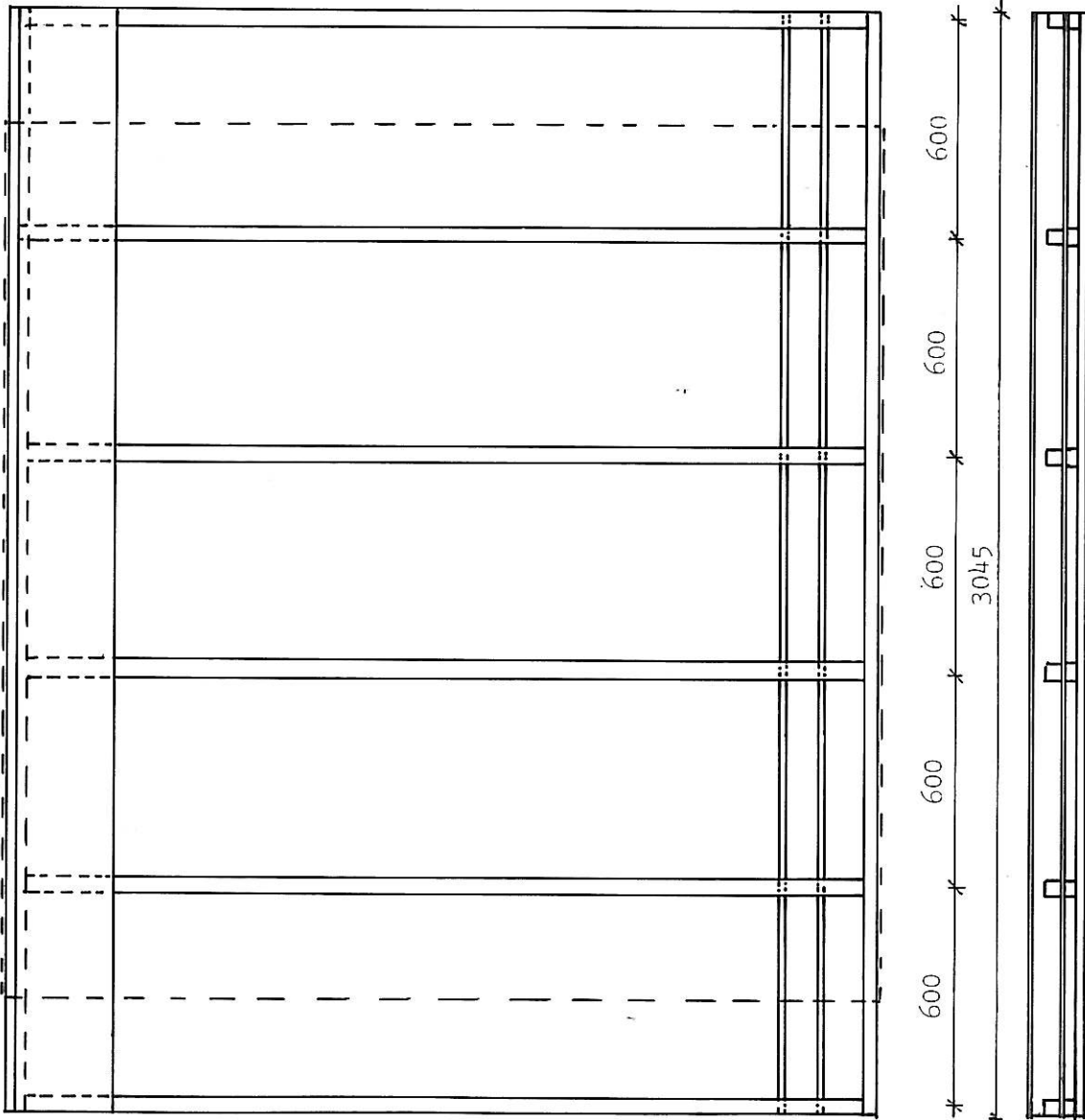
Gipsplate  
13  
35/25 cc 200

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i  
parentes).  
Stiplet linje angir måleareal

VEGGFELT/NBI Nr. 3.1/209  
 Multi/Element L 100,  
 isolert med polyuretanskum

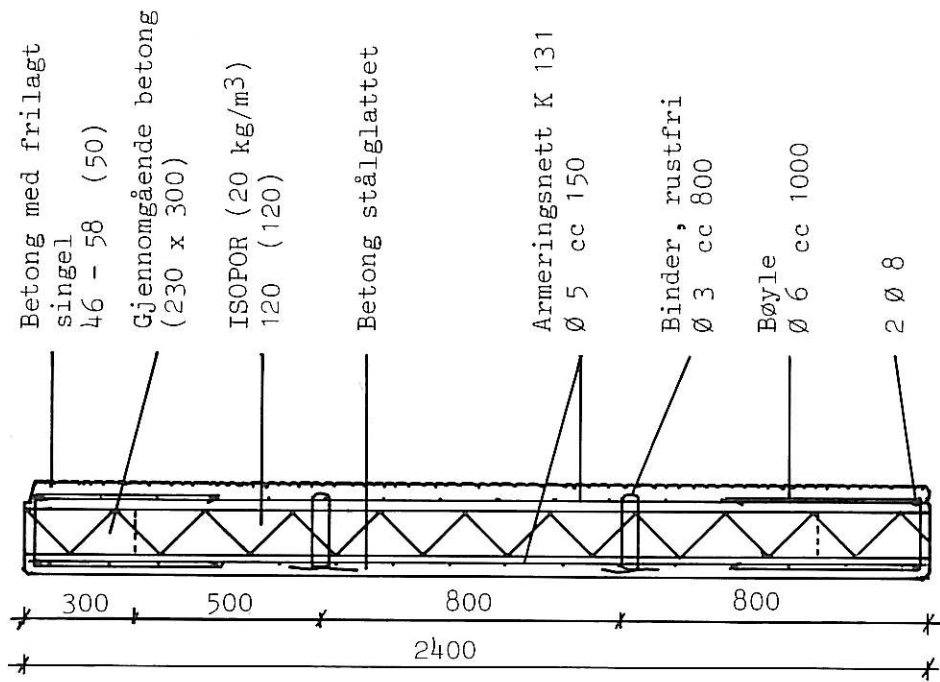
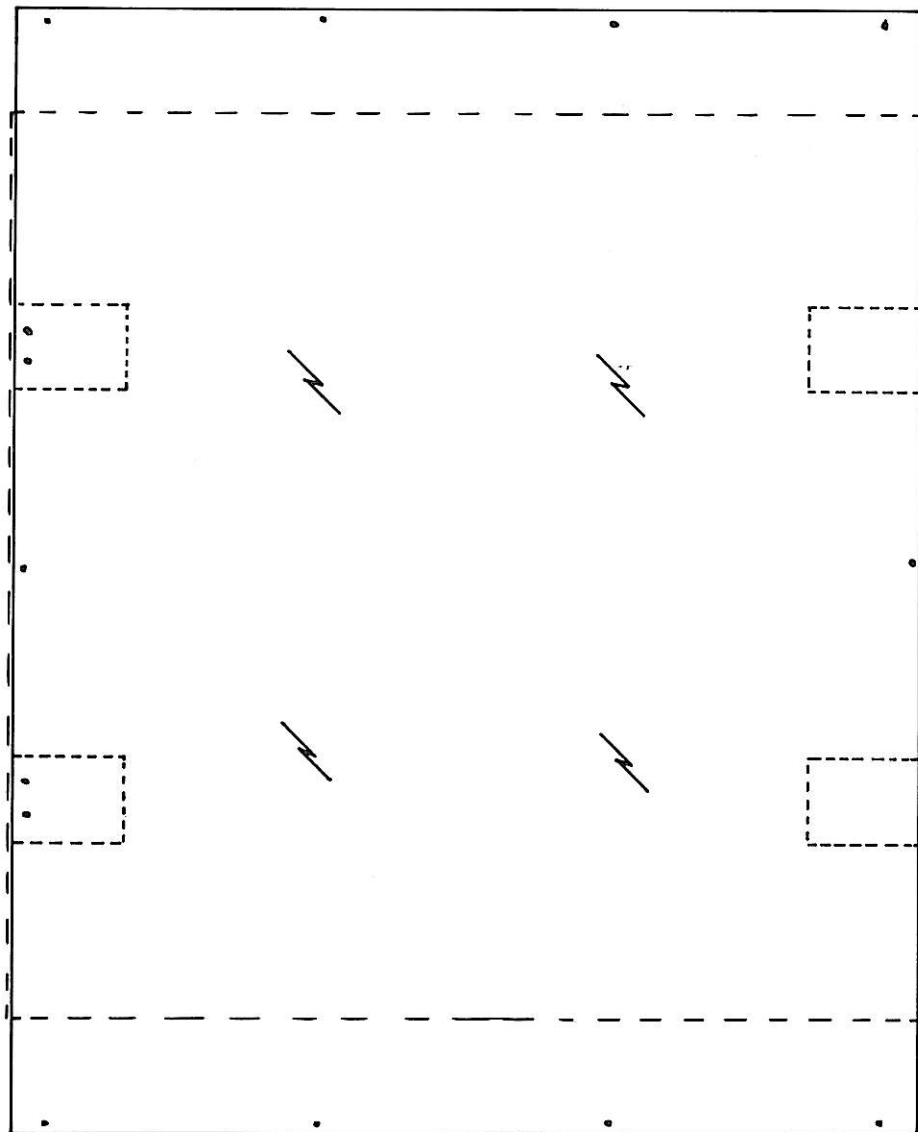


Målte dimensjoner, mm.  
 (Nominelle dimensjoner i  
 parantes).  
 Stiplet linje angir måleareal



VEGGFELT/NBI Nr. 3.2/221

Prefabrikeret betongelement isolert med ISOPOR EPS (20 kg/m<sup>3</sup>)



Betong med frilagte singel  
46 - 58 (50)

Gjennomgående betong  
(230 x 300)

ISOPOR (20 kg/m<sup>3</sup>)  
120 (120)

Betong stålglattet

Armeringsnett K 131  
Ø 5 cc 150

Binder, rustfri  
Ø 3 cc 800

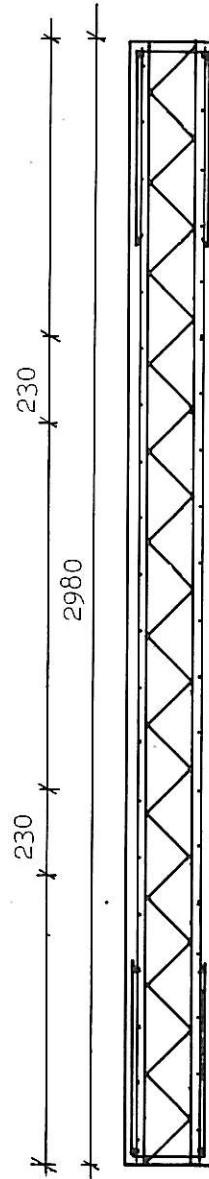
Bøyler  
Ø 6 cc 1000

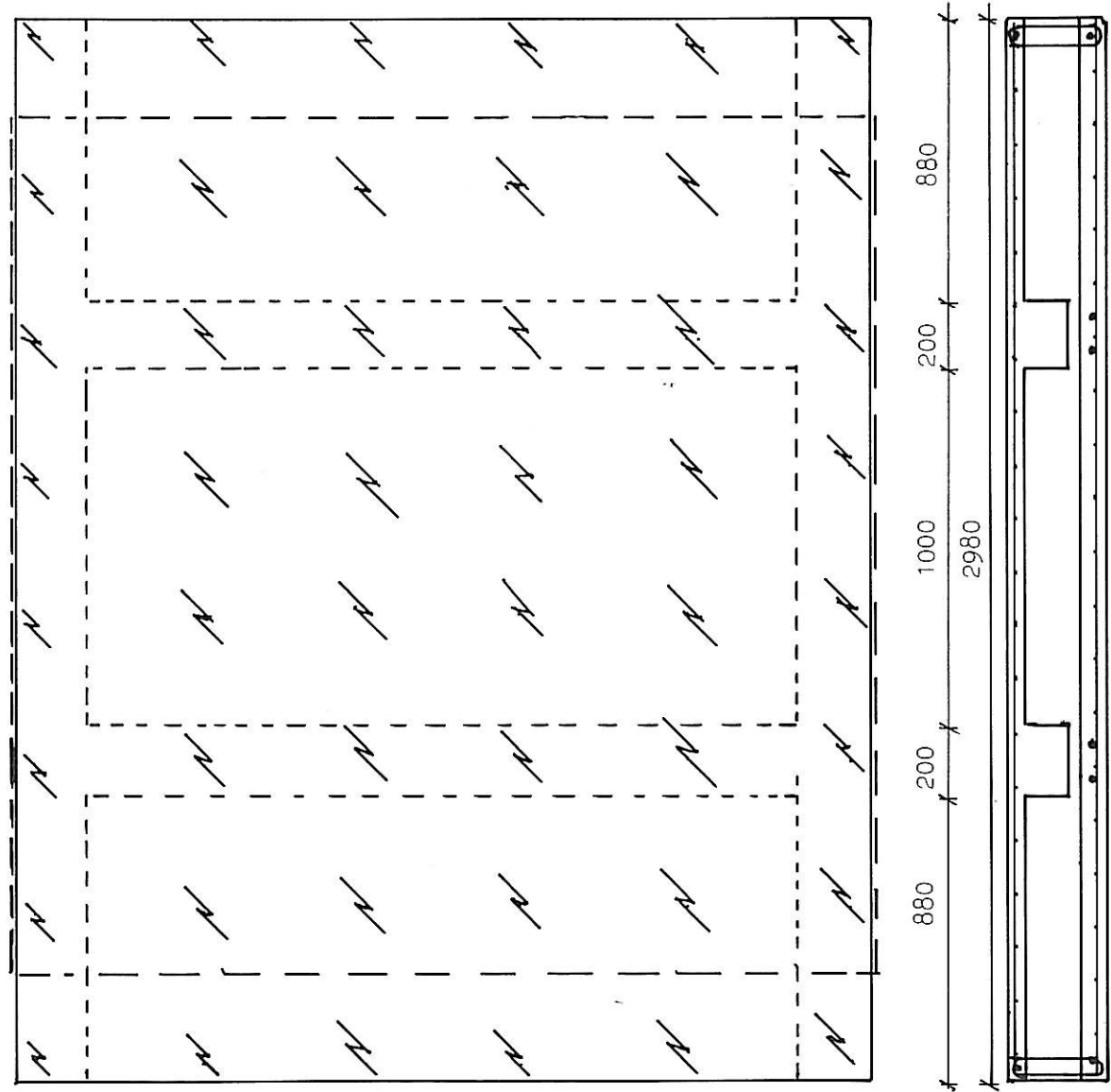
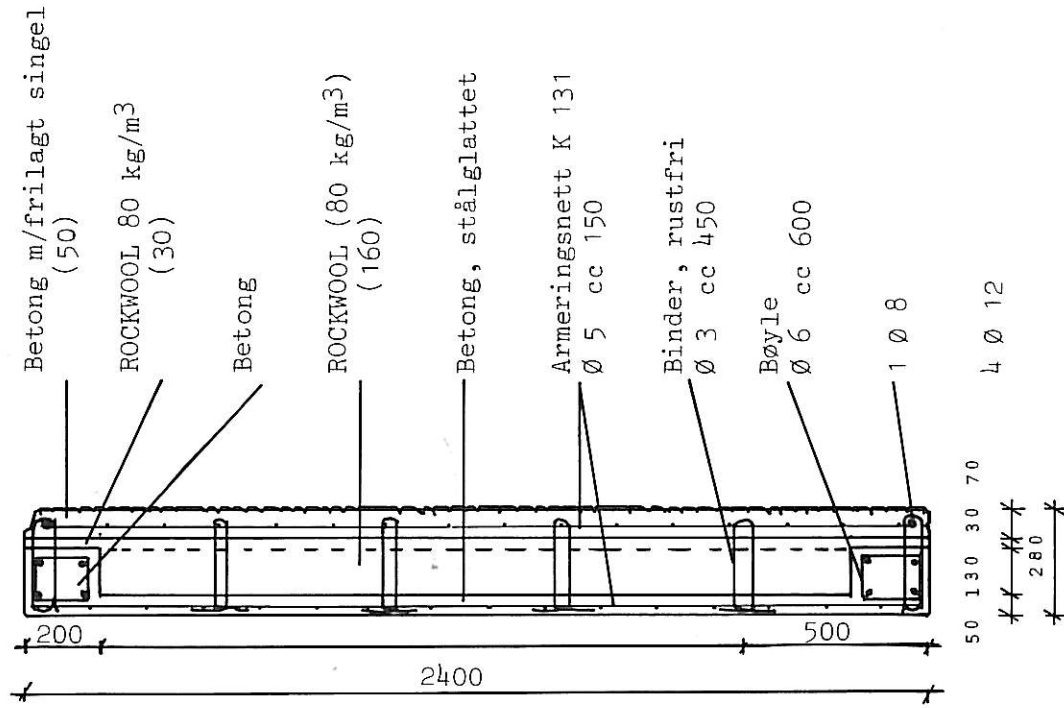
2 Ø 8

50 120 70  
240

Målte dimensjoner, mm.  
(Nominelle dimensjoner i  
parantes).

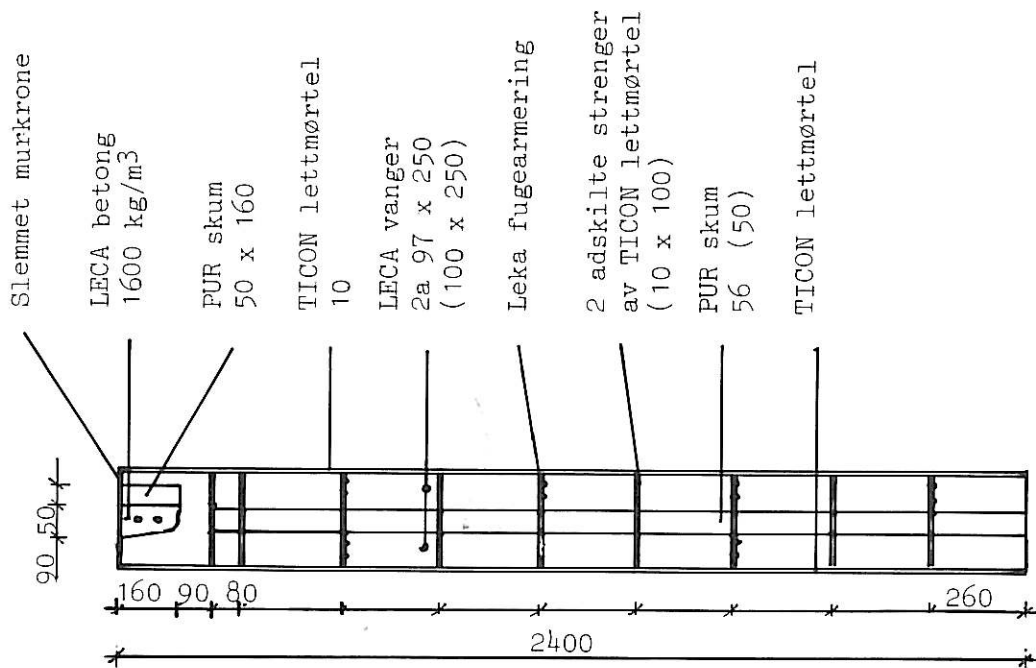
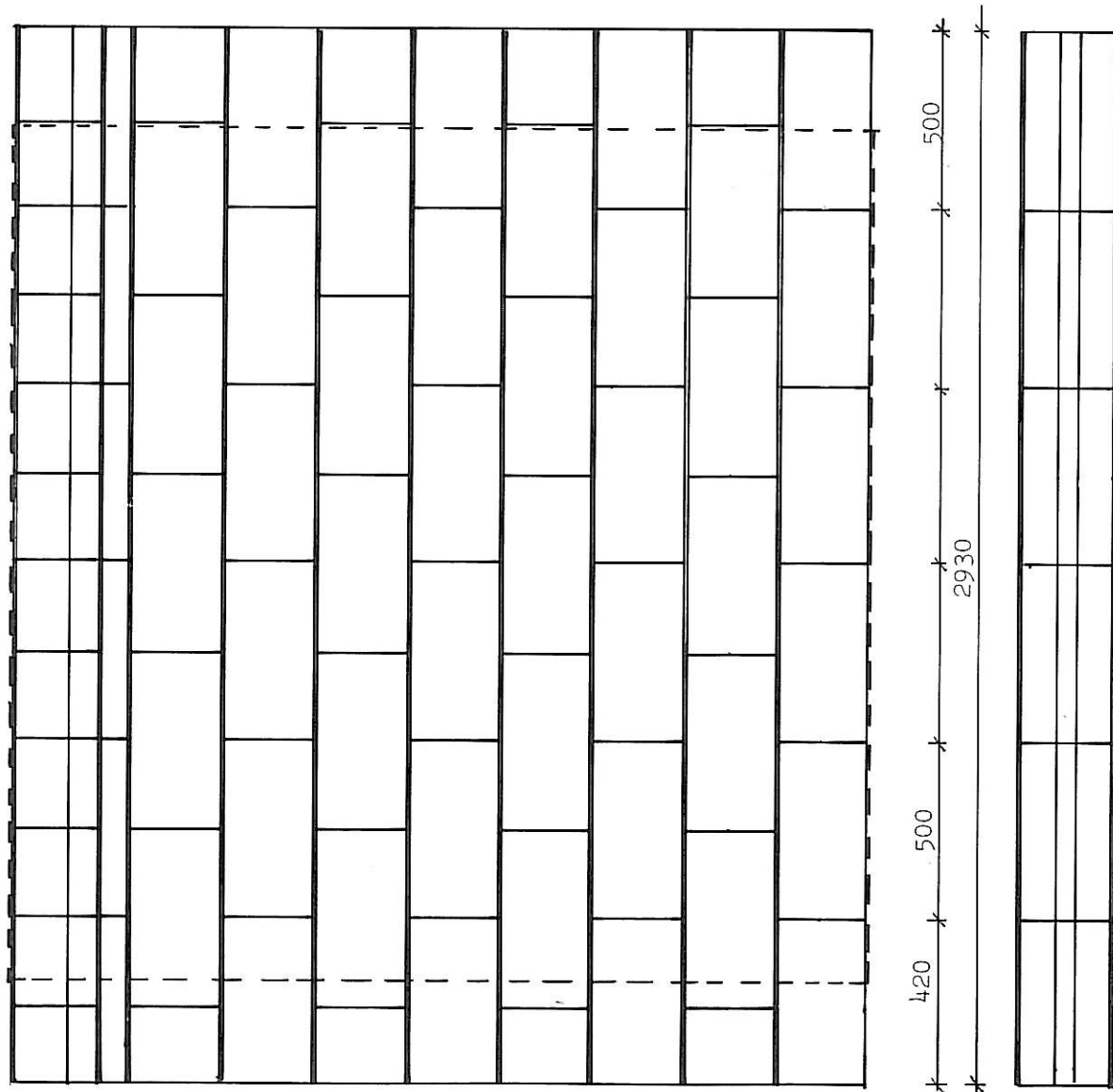
Stiplet linje angir måleareal





VEGGFELT/NBI Nr. 4.1/220

Murvegg av LECA isoblokk, isolert med polyuretanskum



Slemmet murkrone

LECA betong  
1600 kg/m<sup>3</sup>

PUR skum  
50 x 160

TICON lettmørtel  
10

LECA vanger  
2a 97 x 250  
(100 x 250)

Leka fugearmering

2 adskilte strenger  
av TICON lettmørtel  
(10 x 100)

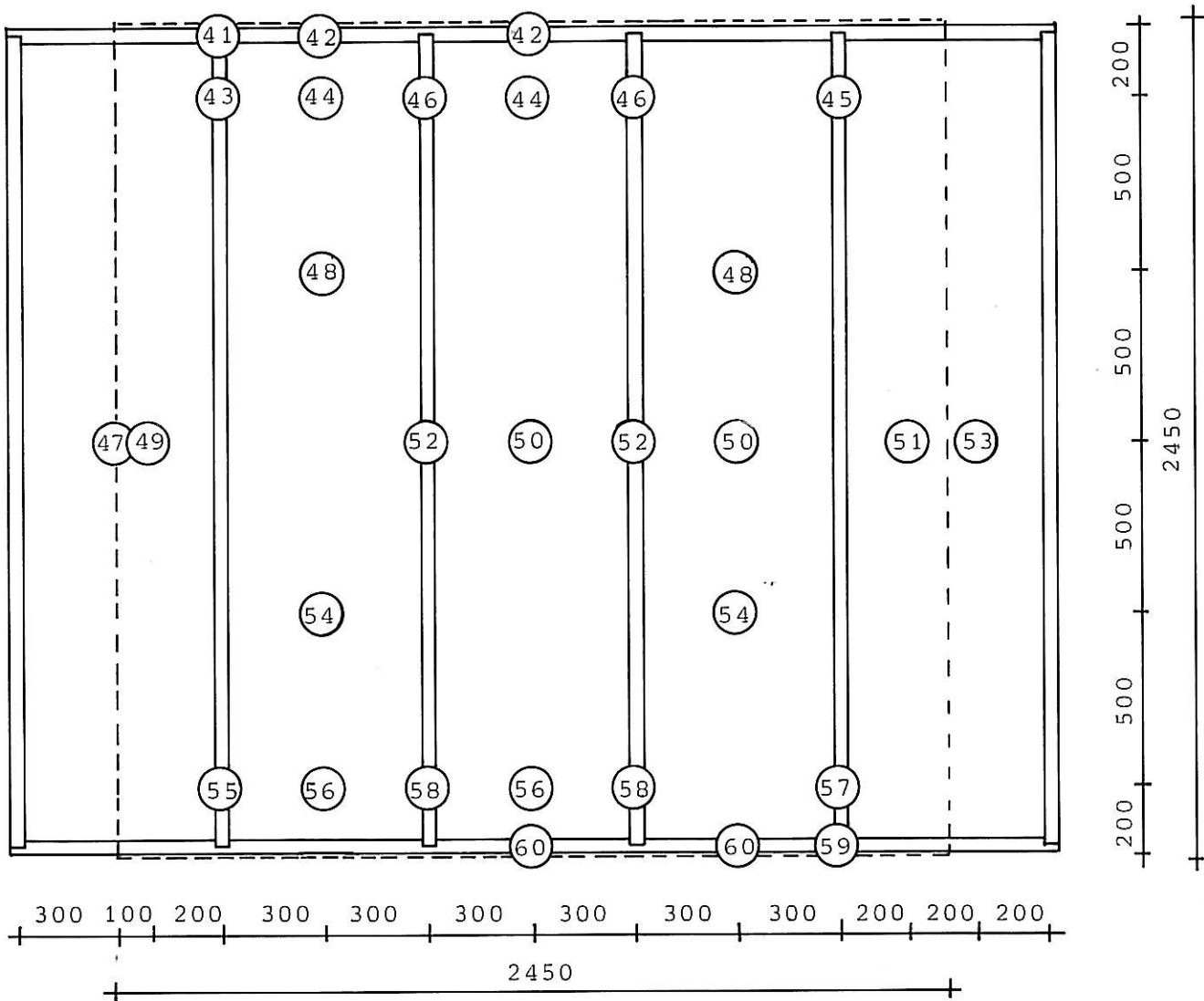
PUR skum  
56 (50)

TICON lettmørtel

97 56 97  
270

## Vedlegg 1a

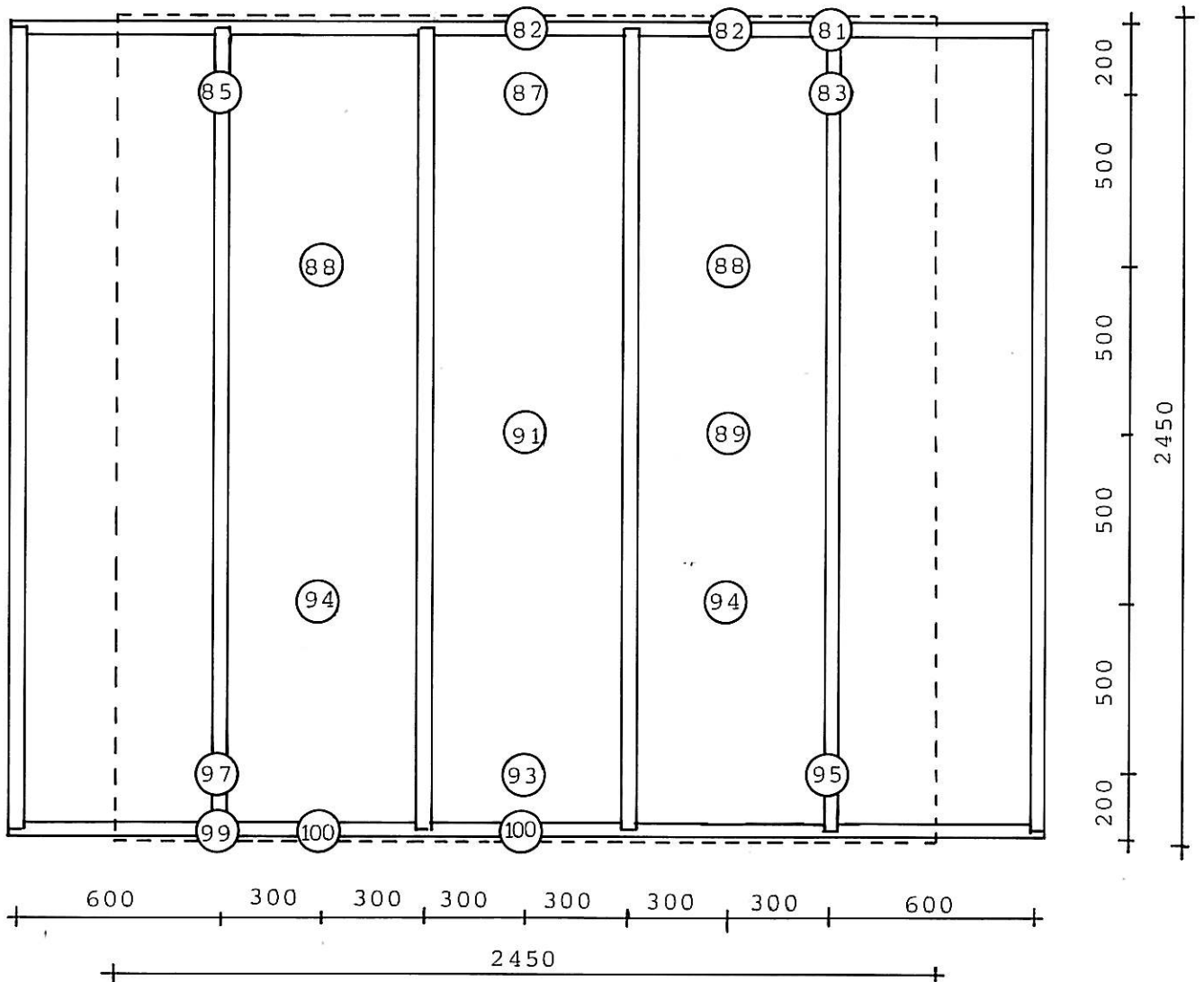
NBIs Hot-box 2, vegg av bindingsverk  
 overflatetemperaturpunkter varm side,  
 stiplet linje viser målearealet.





## Vedlegg 1b

NBIs Hot-box 2, vegg av bindingsverk  
overflatetemperaturpunkter vindspærre,  
stiplet linje viser målearealet.



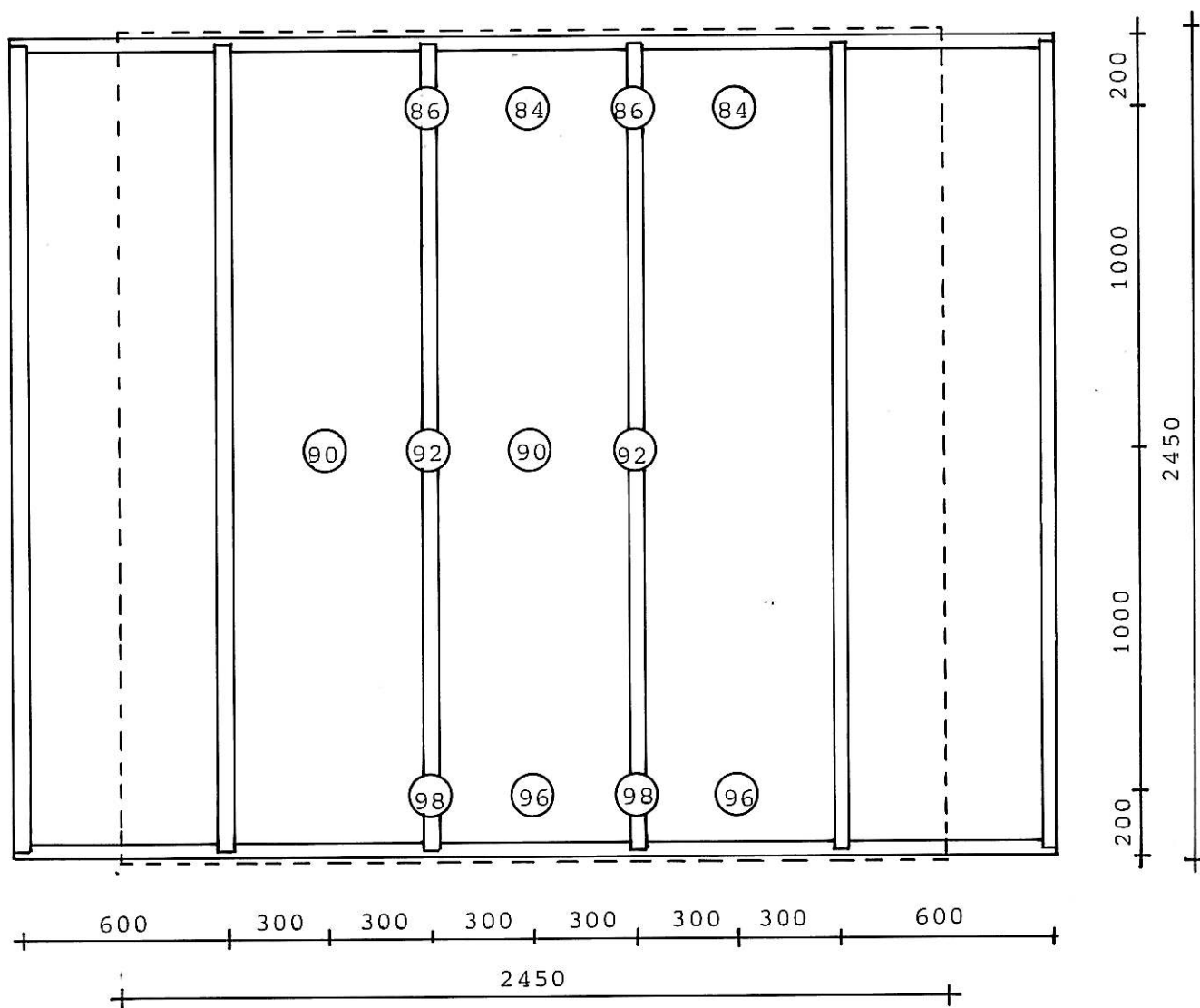
## Vedlegg 1c

NBIs Hot-box 2,

Overflatetemperaturpunkter, vegg av bindingsverk

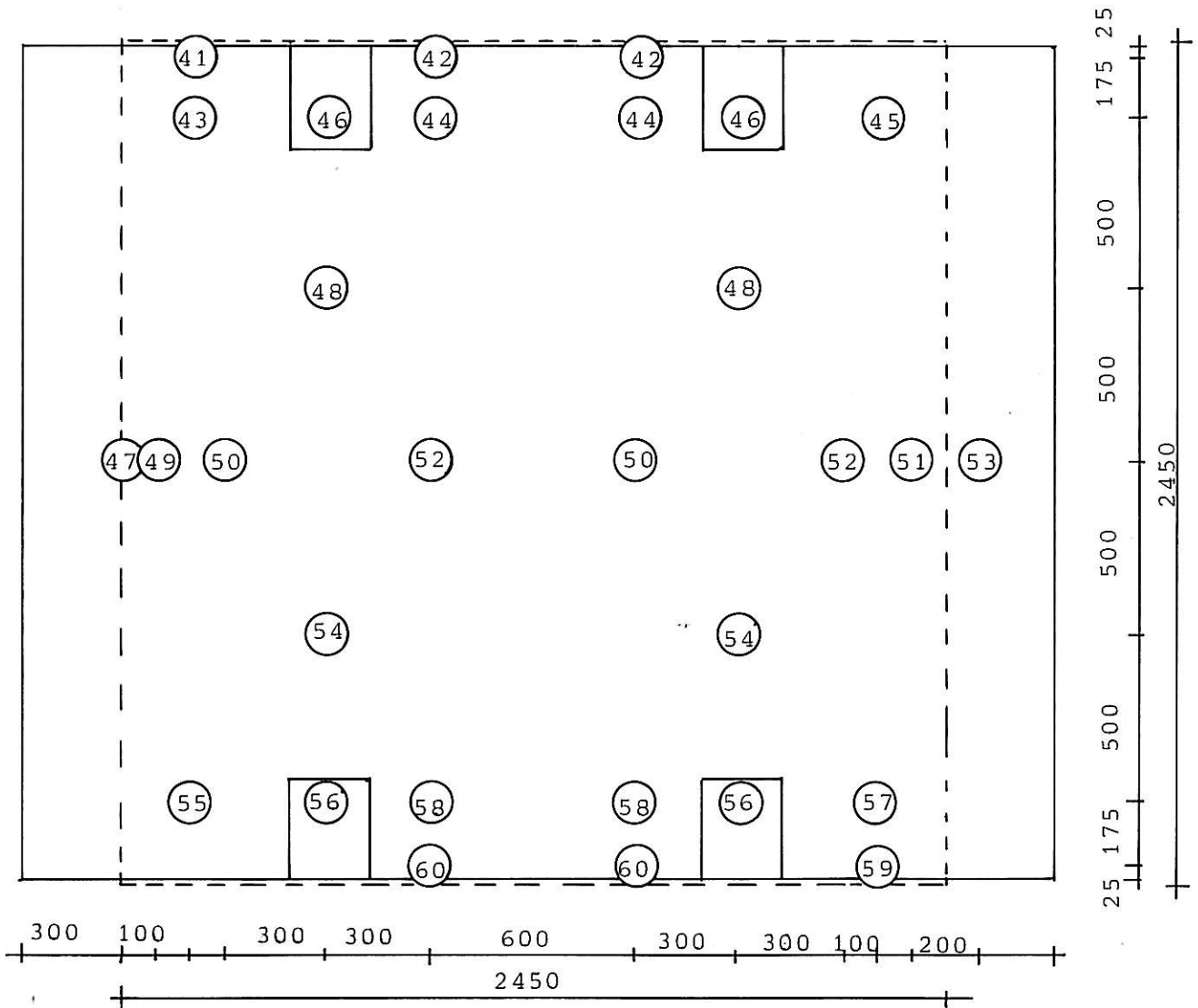
utvendig kledning,

stiplet linje viser måleareal.



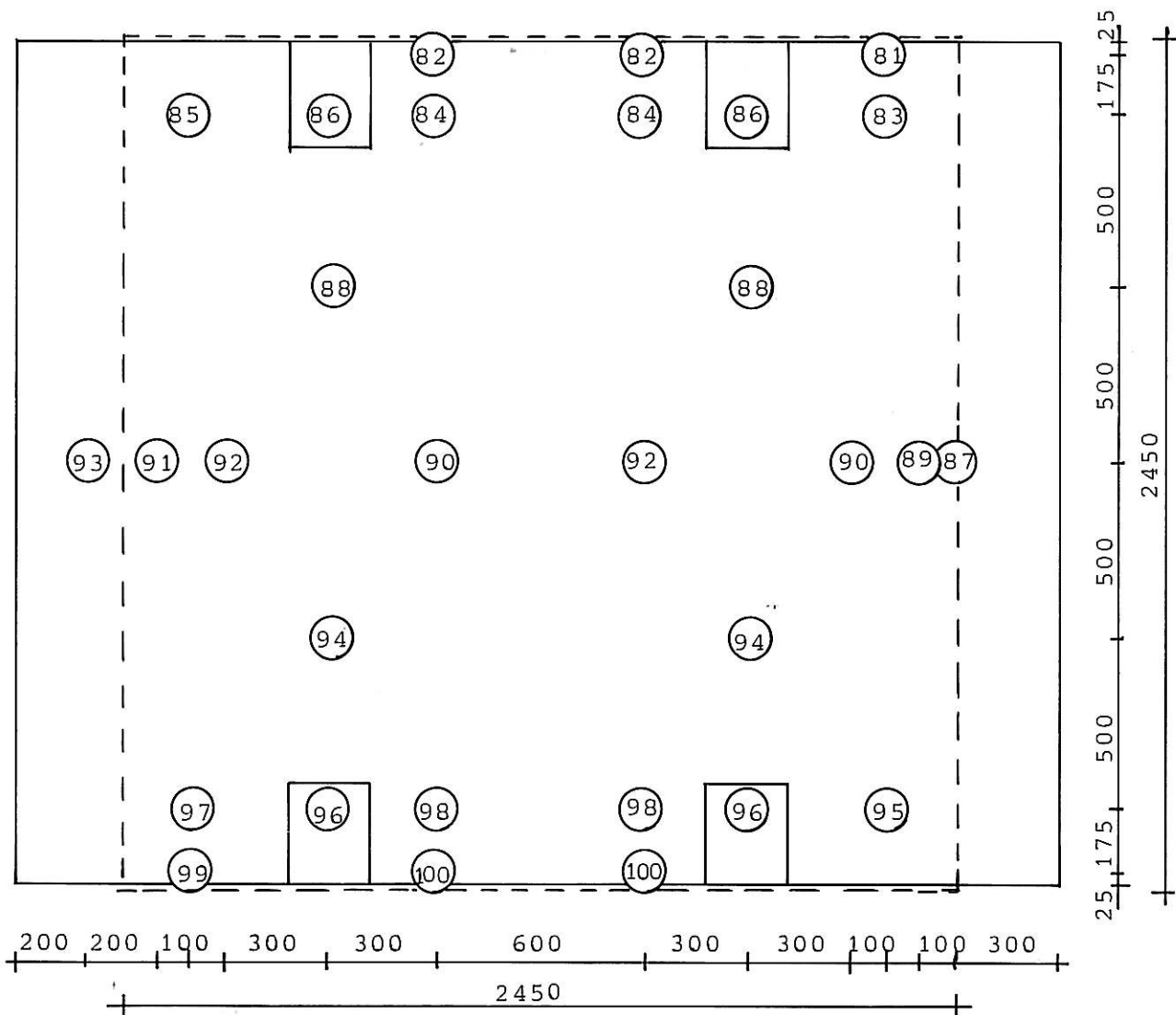
## Vedlegg 2a

Overflatetemperaturpunkter,  
betongelementvegg varm side,  
stiplet linje viser målearealet.



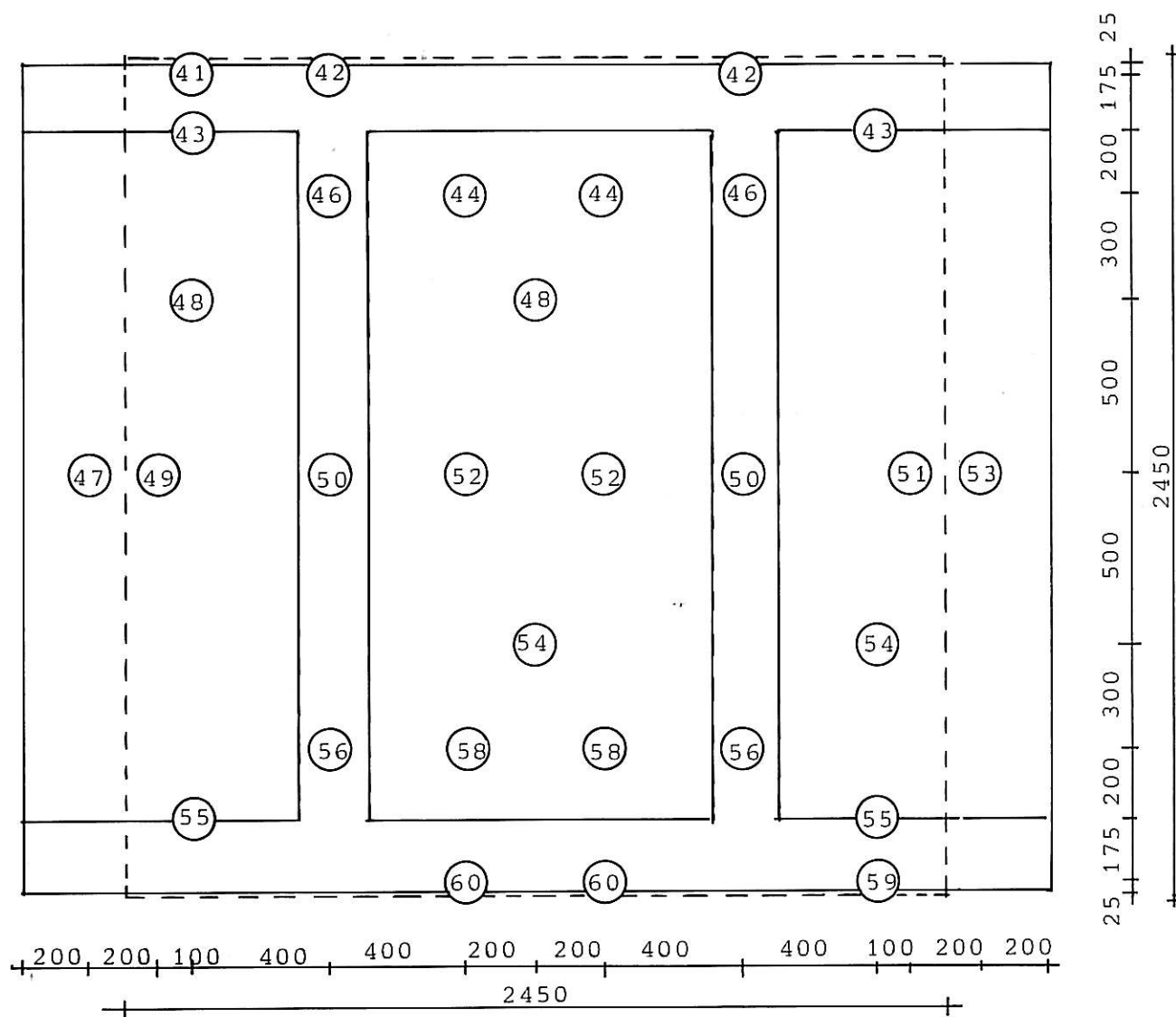
## Vedlegg 2b

Overflatetemperaturpunkter,  
betongelementvegg kald side,  
stiplet linje viser målearealet.



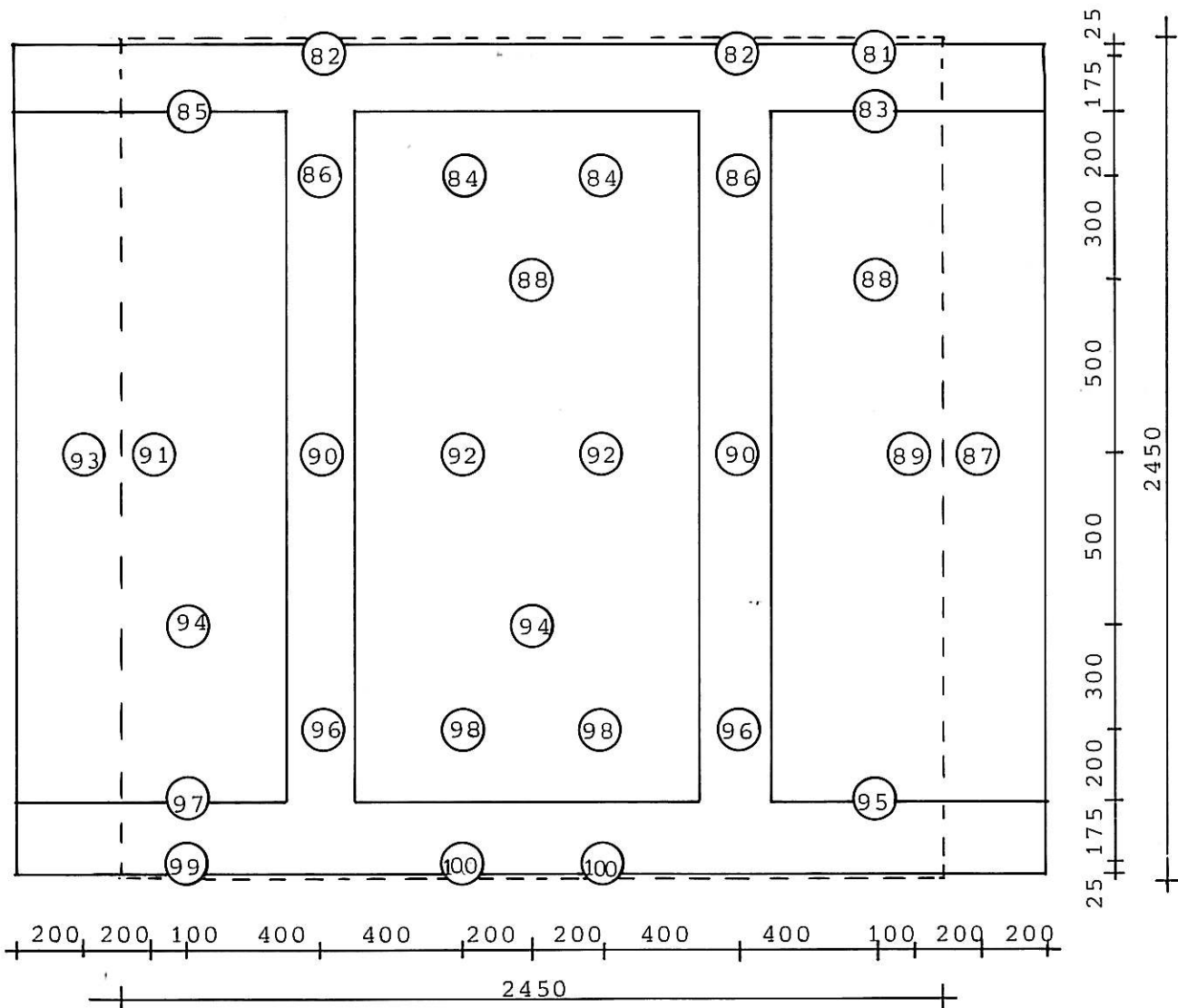
## Vedlegg 3a

Overflatetemperaturpunkter,  
betongelementvegg varm side,  
stiplet linje viser målearealet.



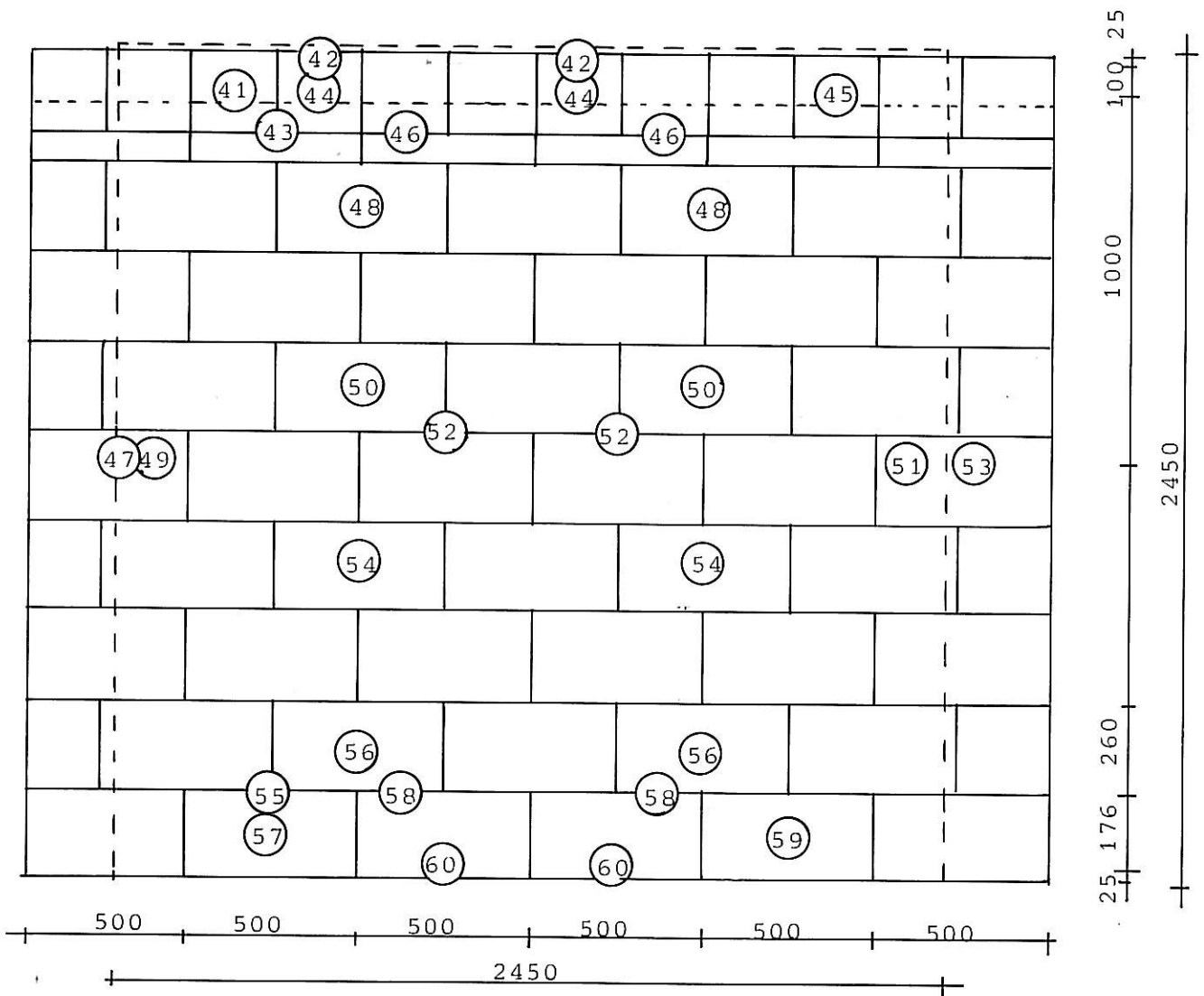
## Vedlegg 3b

Overflatetemperaturpunkter,  
betongelementvegg kald side,  
stiplet linje viser målearealet.



## Vedlegg 4a

Overflatetemperaturpunkter,  
 murvegg varm side,  
 stiplet linje viser målearealet.



## Vedlegg 4b

Overflatetemperaturpunkter,  
murvegg kald side,  
stiplet linje viser målearealet.

