SINTEF

SINTEF Byggforsk

Oslo
Forskningsveien 3b, 0373 Oslo
Postboks 124 Blindern, 0314 Oslo
Telefon: 22 96 55 55
Telefaks: 22 69 94 38

Trondheim
Høgskoleringen 7b
7465 Trondheim
Telefon: 73 59 33 90
Telefaks: 73 59 33 80

E-post: byggforsk@sintef.no
Internettadresse: www.sintef.no/byggforsk
Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Oppdragsgiver
Lett-Tak Systemer AS
Oppdragsgivers adresse
Hegdalveien 139 3261 Larvik
Oppdragsgivers referanse
Tor-Inge Nevland

Prosjektnr./arkivnr.	Dato	Rev.dato	Antall sider	Antall vedlegg	Gradering	Forfatter(e)
3D0998	13.07.2010		9		Lukket	Hans Boye Skogstad
Prosjektleder: Hans Boye Skogstad	Sign.	Ansvarlig linjeleder: Berit Time	Sign.	Kvalitetssikrer: Sivert Uvsløkk	Sign.	

Oppdragsrapport

Lett-Tak takelementer
Prøving av luftgjennomgang

Kort sammendrag

SINTEF Byggforsk har på oppdrag fra Lett-Tak Systemer AS utført prøving av luftgjennomgang i Lett-Tak elementer. Prøvingen er begrenset til å dokumentere luftgjennomgangen i dampsperresjiktet i skjøtene mellom elementene. I et ferdig montert tak med takbelegg vil luftgjennomgangen kunne være lavere enn det som er målt her. Bestandigheten til tape og tettebånd er ikke vurdert.

Luftgjennomgang pr løpemeter skjøt i Lett-Tak elementer målt ved 50 Pa trykkforskjell:

Langsgående skjøt	0,1 $m^3/(h \cdot m)$
Tverrskjøt med løse omlegg mellom stålkasetter	0,6 $m^3/(h \cdot m)$
Tverrskjøt med finérlasker for klemming av omlegg	0,5 $m^3/(h \cdot m)$

Luftlekkasjene i tak med Lett-Tak elementer er små. Takflatens bidrag til antall luftvekslinger ved 50 Pa trykkforskjell (lekkasjetallet) utgjør mellom 0,01 h^{-1} og 0,03 h^{-1} for de fleste bygninger.

Byggverkets adresse			Byggeår
	Metode Prøving	Emneord Tak, Dampsperre, Himling, Tre, Stål, Luftgjennomgang	Filnavn Rapport Lett Tak Systemer 3D0998 hbs

Utdragsvis eller forkortet gjengivelse av rapporten er ikke tillatt uten SINTEF Byggforsks spesielle godkjennelse.
Hvis rapporten skal oversettes, forbeholder SINTEF Byggforsk seg retten til å godkjenne oversettelsen. Kostnader belastes oppdragsgiver.

1. Innledning

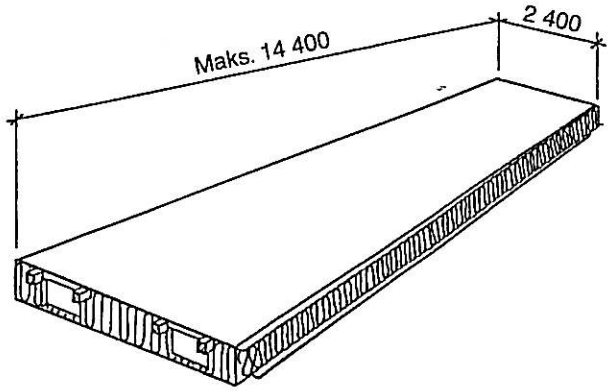
SINTEF Byggforsk har på oppdrag fra Lett-Tak Systemer AS utført prøving av luftgjennomgang i Lett-Tak elementer.

Prøvingen er begrenset til å dokumentere luftgjennomgangen i dampsperresjiktet i skjøtene mellom elementene. I et ferdig montert tak med takbelegg vil luftgjennomgangen kunne være lavere enn det som er målt her.

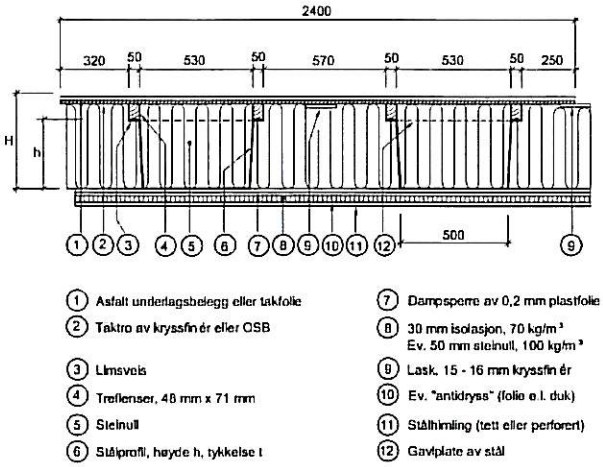
Bestandigheten til tape og tettebånd er ikke vurdert.

2. Lett-Tak elementer

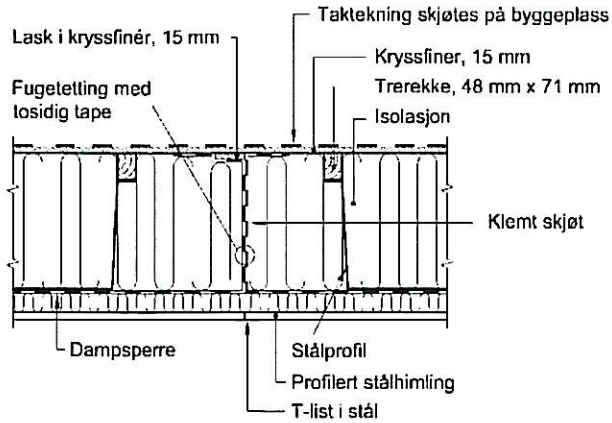
Prinsipiell oppbygging av Lett-Tak elementer er vist i figur 2.1 og 2.2. Prinsippene for tetting av skjøtene i dampsperren på langsiden av elementene er vist i figur 2.3 og på tverrenden i figur 2.4.



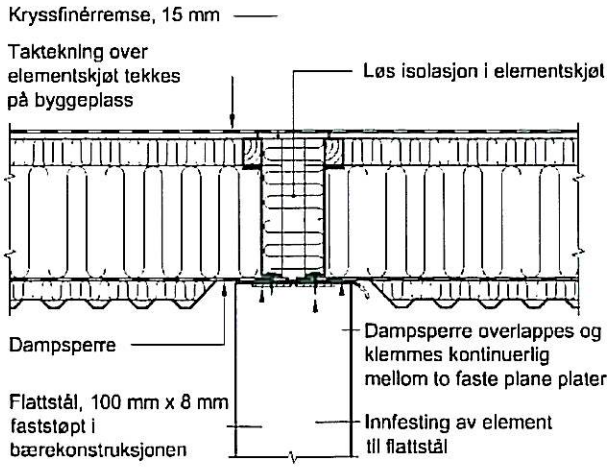
Figur 2.1
Prinsippskisse av Lett-Tak element med bredde 2,4 m og lengde inntil 14,4 m



Figur 2.2
Detalj i vinkelrenne topp. Sammenføyningen av vinkelrennene i topp forseglet med fugemasse



Figur 2.3
Dampsperreskjøten i lengdeskjøten mellom elementene utføres ved at dampsperren føres opp langs sidekanten av isolasjonen og holdes sammen av tosidig tape



Figur 2.4
Dampsperreskjøten i tverreskjøten mellom elementene utføres ved et omlegg over bæring. Dampsperren må legges nøye der lengdeskjøt og tverrskjøt møtes

3. Prøvefeltene

Prøvefeltene ble bygd av Lett-Tak Systemer AS i egne lokaler i Larvik og fraktet til SINTEF Byggforsks laboratorium i Trondheim. Prøvefeltene ble laget med ytre mål 2,4 m ganger 2,4 m for å monteres i sjablonen i luftskapet. Figur 3.1 viser kantavslutning på prøvefeltene og hvordan prøvefeltene ble lagt an mot sjablonen i luftskapet.

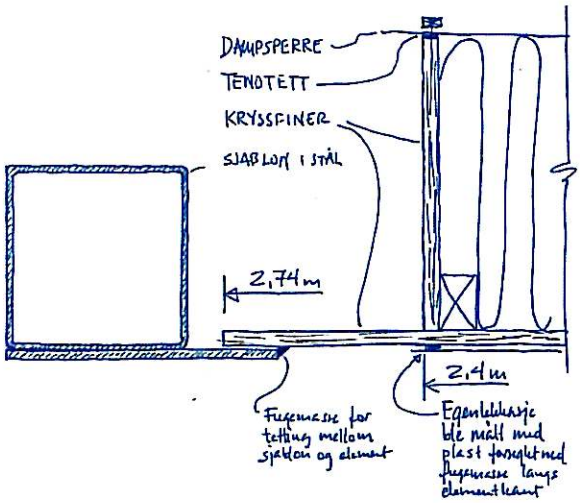
Det ble laget to prøvefelter som vist på figur 3.2. Prøvefeltet til venstre i figuren var sammensatt av to delelementer for måling av luftgjennomgang i langsgående skjøt. Prøvefeltet til høyre i figuren var sammensatt av fire delelementer for måling av luftgjennomgang i langsgående skjøt og i tverrskjøt over opplegg. Figur 3.3 og 3.4 viser prøvefeltene montert i sjablon og i luftskapet.

Prøvefeltet med tverrskjøt ble bygd om under prøvingen med tre ulike utførelser av dampsperreskjøten over opplegg:

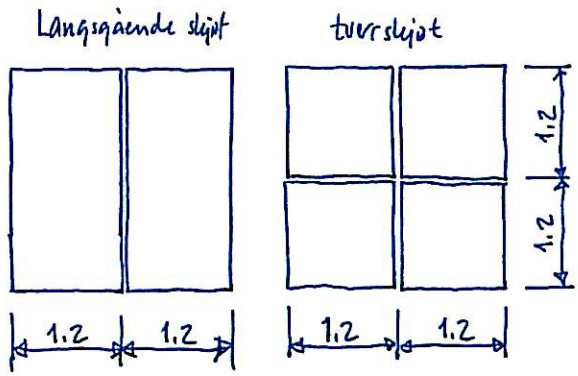
Løse omlegg i dampsperreskjøt
Dampsperren ble formet og lagt nøye. Omleggene mellom stålkasettene er kun klemt med presset fra mineralullen. Figur 3.5 viser omlegget der stålkasettene ligger an på opplegg.

Finérklosser med spor for å holde sammen dampsperreskjøt
Samme utførelse som over bare med finérklosser med innskjært spor for å holde dampsperren i skjøt i sidekant sammen ned mot opplegg, se figur 3.6.

Finérlasker med klemming av omlegg
Finérlasker klemmer omlegget i dampsperren sammen over opplegg, se figur 3.7 og 3.8.



Figur 3.1
Prøvefelt med kantavslutning anlagt mot sjablon



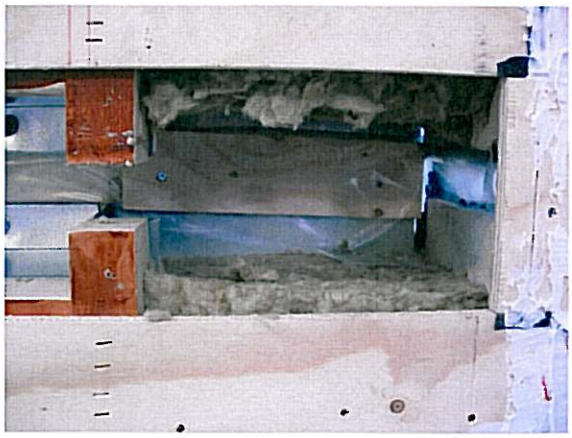
Figur 3.2
Prøvefelter for måling av luftgjennomgang; til venstre med langsgående skjøt og til høyre med både langsgående skjøt og tverrskjøt.

Figur 3.3
Prøvefelt med langsgående skjøt montert i luftskapet

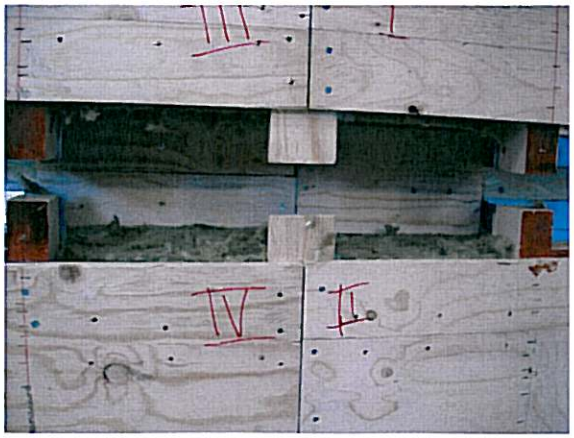
Figur 3.4
Prøvefelt med både lang og tverrskjøt montert i sjablon

Figur 3.5
Omlegg i dampsperre i tverrskjøt klemt med ståkasettene over opplegg

Figur 3.6
Dampsperren i skjøt i sidekant holdes sammen av finérklosser ned mot omlegg i tverrskjøt over opplegg



Figur 3.7
Finérlasker klemmer omlegget i tverrskjøt ned mot opplegg



Figur 3.8
Finérlasker klemmer omlegget i tverrskjøt ned mot opplegg der langsgående skjøt ender ut i tverrskjøt

4. Prøvemetode

Luftgjennomgangen til prøvefeltene ble målt i SINTEF Byggforsks luftskap etter metode NS-EN 12114. Prøvefeltene ble montert tett inn i en åpning i en sjablon som ble klemt til en åpning i luftskapet. Oversiden av takelementene vendte inn i skapet. Luftgjennomgangen ble målt ved tre stabile trykkforskjeller både ved overtrykk og undertrykk i luftskapet. Luftgjennomgangen ved 50 Pa trykkforskjell ble beregnet ved kurvetilpasning på grunnlag av de tre målepunktene.

Luftgjennomgangen som ble målt på prøvefeltet ble korrigert for egenlekkasjen i skapet. Egenlekkasjen i luftskapet ble målt ved å forsegle overflaten av selve prøvefeltet med en 0,2 mm plastfolie. Plastfolien ble foreglet til prøvefeltet med fugemasse som vist på figur 3.1. Ved målingen ble overgangen mellom sjablon og luftskap forseglet med tape. Overgangen mellom sjablon og prøvfelt ble forseglet med fugemasse. På grunn av den ekstra tettingen med tape og fugemasse, var det forventet at egenlekkasjen skulle bli tilnærmet lik både ved under- og overtrykk i luftskapet. Egenlekkasjen ble derfor kun målt ved overtrykk i luftskapet da det var enklere å oppnå stabil trykkforskjell over prøvefeltet når plasten ble presset mot taktroet som besto av kryssfiner. Egenlekkasjen ble imidlertid målt både før og etter prøvingen.

5. Resultater

Det ble gjennomført fire målinger av luftgjennomgang, se nærmere beskrivelse av prøvefeltene i avsnitt 3.

a) Langsgående skjøt
b) Tverrskjøt med løse omlegg i dampsperreskjøt
c) Tverrskjøt med finérklosser med spor for å holde sammen dampsperreskjøt
d) Tverrskjøt med finérlasker for klemming av omlegg i dampsperreskjøt

Prøveresultatene er gjengitt i tabell 5.1. Utskrift av regneark for bearbeiding av måledata er vist i vedlegg 1 og 2. Kalibreringskurver for luftskap er vist i vedlegg 3.

Tabell 5.1
Luftgjennomgang pr løpemeter skjøt i m^3/h for Lett-Tak elementer målt ved 50 Pa trykkforskjell. Luftgjennomgangen for tverrskjøt inkluderer punktlekkasjen i krysset mellom lengdeskjøt og tverrskjøt og gjelder for en standard elementbredde på 2,4 m.

Løsning	Luftgjennomgang pr løpemeter skjøt målt ved 50 Pa trykkforskjell m^3/h
Langsgående skjøt	0,1
Tverrskjøt med løse omlegg i dampsperreskjøt	0,6
Tverrskjøt med finérklosser med spor for å holde sammen dampsperreskjøt	0,6
Tverrskjøt med finérlasker for klemming av omlegg i dampsperreskjøt	0,5

6. Vurdering

Målingene av luftgjennomgang i langsgående skjøt er beheftet med noe usikkerhet da luftmengdene er så små at vi er helt i nedre område for hva prøveutstyret er egnet for. Dampsperren i lengdeskjøten blir presset noe ut på grunn av isolasjonsmattene som har noe overmål. Når elementene føres sammen blir dampsperren i naboelementene presset tett og fint sammen og i tillegg holdt på plass med tosidig tape. Målingene bekrefter som forventet at lengdeskjøtene får god luftetthet.

Målingene av luftgjennomgang i tverrskjøter ble utført på tre ulike løsninger. Løsningen med finérlasker som sammen med stålkassettene gir kontinuerlig klemming av omlegglegget i dampsperren i tverrskjøten hadde som forventet minst luftgjennomgang. Forbedringen i forhold til løsningen med løse omlegg er imidlertid liten.

Løsningen med løse omlegg og løsningen der dampsperren blir holdt sammen med finérklosser med spor har omtrent samme luftgjennomgang. En kunne forvente at løsningen med finérklosser ga noe bedre tetting, men målingene viser at løsningen med finérklosser ga en aning større luftlekkasje. Forskjellene i de målte luftmengdene er ikke store og kan skyldes usikkerhet i målingene eller små endringer i måten plasten ble lagt i omleggene ved de to målingene.

En må forvente at luftgjennomgangen i dampsperresjiktet avhenger av hvor nøyaktig en får lagt dampsperren i omleggene. Videre bekrefter målingene at omleggene som kun blir klemt med trykket fra isolasjonen gir forholdsvis god luftttetting.

Lett-Tak elementer produseres i mange ulike tykkelser. Prøvefeltene som ble laget for å måle luftgjennomgang ble valgt med stålkassetter i høyde 160 mm og med trelekter 48 mm x 73 mm slik at samlet isolasjonstykkelse var 233 mm. Denne elementtykkelsen er den tynneste som vanligvis blir brukt. Det er forventet at lufttettingen i skjøtene i dampsperresjiktet for elementer med større tykkelser er like god eller bedre.

I et ferdig montert tak med Lett-Tak elementer vil takbelegget sørge for at luftgjennomgangen i selve takflaten er svært liten. I alle elementskjøter er det imidlertid skjøter i dampsperren. Luftlekkasjer gjennom skjøtene i dampsperren vil kunne ledes videre og lekke ut i randen av takflaten. I et ferdig tak vil det bli noe lengre strømningsveg og dermed større motstand for luften som strømmer fra indre deler av takflaten og ut mot randen. Avhengig av størrelsen og formen på takflaten vil derfor luftlekkasjen ut gjennom hele takflaten normalt bli noe mindre enn måleresultatene tilsier.

Hvis en tar utgangspunkt i en takflate med bredde 36 m og lengde 48 m med 15 elementer á 2,4 m i bredden og 4 elementer á 12 m i lengden, vil vi ha 108 løpemeter tverrskjøter og 672 løpemeter lengdeskjøter. Ved 50 Pa trykkforskjell vil de målte luftlekkasjene på 0,6 m^3/h pr løpemeter tverrskjøt og 0,1 m^3/h pr løpemeter lengdeskjøt gi en samlet luftgjennomgang på 132 m^3/h. Hvis vi i dette eksempelet regner en takhøyde på 4 m vil luftlekkasjene i taket ha marginal innvirkning på antall luftvekslinger per time ved en trykkforskjell på 50 Pa. Takets bidrag til lekkasjetallet for dette bygget utgjør i underkant av 0,02 h^{-1}.

Vedlegg 1
Utskrift fra regneark for bearbeiding av måledata, tverrskjøt

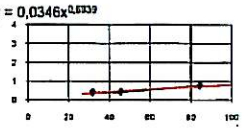
Kurve for skap								
overtrykk	1,6406	x^2	+	6,9347	x	+	-0,1417	
undertrykk	1,1640	x^2	+	7,1205	x	+	-0,1050	

Egenlekkasje før prøving

Overtrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,078	32,1	0,41
0,083	45,9	0,45
0,129	84,5	0,78

$y = 0{,}0346x^{0.6939}$



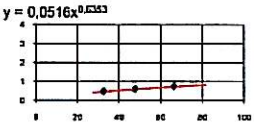
$y = A \cdot x^b$	0,0346	
$y = A \cdot x^b$	0,6939	
$y = A \cdot x^b$	0,52	m3/h

Egenlekkasje etter prøving

Overtrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,087	32,8	0,47
0,105	48,1	0,60
0,124	66,6	0,74

$y = 0{,}0516x^{0.6530}$



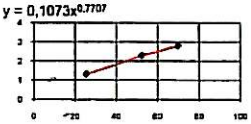
$y = A \cdot x^b$	0,0516	
$y = A \cdot x^b$	0,6530	
$y = A \cdot x^b$	0,66	m3/h
Egenlekkasje, middel	0,59	m3/h

Tverrskjøt løse omlegg

Overtrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,200	25,8	1,31
0,326	52,7	2,29
0,391	70,0	2,82

$y = 0{,}1073x^{0.7707}$



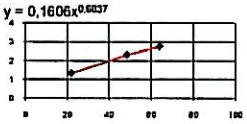
$y = A \cdot x^b$	0,1073	
$y = A \cdot x^b$	0,7707	
$y = A \cdot x^b$	2,19	m3/h
Overtrykk	1,59	m3/h

Tverrskjøt løse omlegg

Undertrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,195	22,0	1,33
0,321	48,8	2,30
0,378	64,1	2,75

$y = 0{,}1606x^{0.6637}$



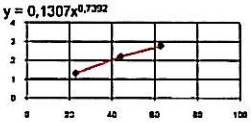
$y = A \cdot x^b$	0,1606	
$y = A \cdot x^b$	0,6637	
$y = A \cdot x^b$	2,33	m3/h
Undertrykk	1,74	m3/h
Middel	1,67	m3/h
Fratrekk for langskjøt	1,4	m3/h
Pr løpemeter tverrskjøt	0,6	m3/h

Tverrskjøt finérkloss med spor

Overtrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,202	23,1	1,33
0,312	44,4	2,18
0,385	62,9	2,77

$y = 0{,}1307x^{0.7392}$



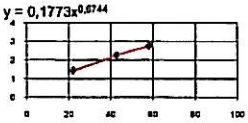
$y = A \cdot x^b$	0,1307	
$y = A \cdot x^b$	0,7392	
$y = A \cdot x^b$	2,36	m3/h
Overtrykk	1,76	m3/h

Tverrskjøt finérkloss med spor

Undertrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,209	22,2	1,43
0,313	42,9	2,24
0,378	58,4	2,75

$y = 0{,}1773x^{0.6744}$



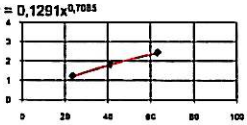
$y = A \cdot x^b$	0,1773	
$y = A \cdot x^b$	0,6744	
$y = A \cdot x^b$	2,46	m3/h
Undertrykk	1,89	m3/h
Middel	1,82	m3/h
Fratrekk for langskjøt	1,6	m3/h
Pr løpemeter tverrskjøt	0,6	m3/h

Tverrskjøt finérlask klemt omlegg

Overtrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,187	23,7	1,21
0,266	41,5	1,82
0,343	63,3	2,43

$y = 0{,}1291x^{0.7085}$



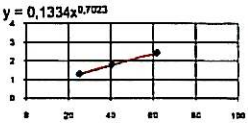
$y = A \cdot x^b$	0,1291	
$y = A \cdot x^b$	0,7085	
$y = A \cdot x^b$	2,06	m3/h
Overtrykk	1,47	m3/h

Tverrskjøt finérlask klemt omlegg

Undertrykk

Spenning	Trykk	Luftmengde
0,191	25,5	1,30
0,257	40,8	1,80
0,336	61,9	2,42

$y = 0{,}1334x^{0.7023}$



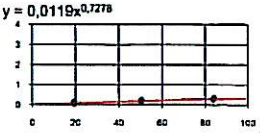
$y = A \cdot x^b$	0,1334	
$y = A \cdot x^b$	0,7023	
$y = A \cdot x^b$	2,08	m3/h
Undertrykk	1,49	m3/h
Middel	1,48	m3/h
Fratrekk for langskjøt	1,2	m3/h
Pr løpemeter tverrskjøt	0,5	m3/h

Vedlegg 2
Utskrift fra regneark for bearbeiding av måledata, lengdeskjøt

Kurve for skap								
overtrykk	1,6406	x^2	+	6,9347	x	+	-0,1417	
undertrykk	1,1640	x^2	+	7,1205	x	+	-0,1050	

Egenlekkasje før prøving

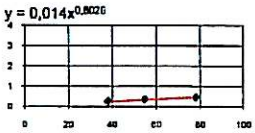
$y = 0{,}0119x^{0{,}7278}$



Overtrykk					
Spenning	Trykk	Luftmengde	$y = A \cdot x^b$	0,0140	
0,035	19,3	0,10	$y = A \cdot x^b$	0,6919	
0,049	50,4	0,20	$y = A \cdot x^b$	0,21	m3/h
0,063	83,8	0,30			

Langskjøt

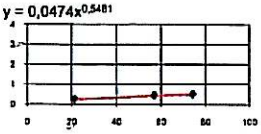
$y = 0{,}014x^{0{,}8026}$

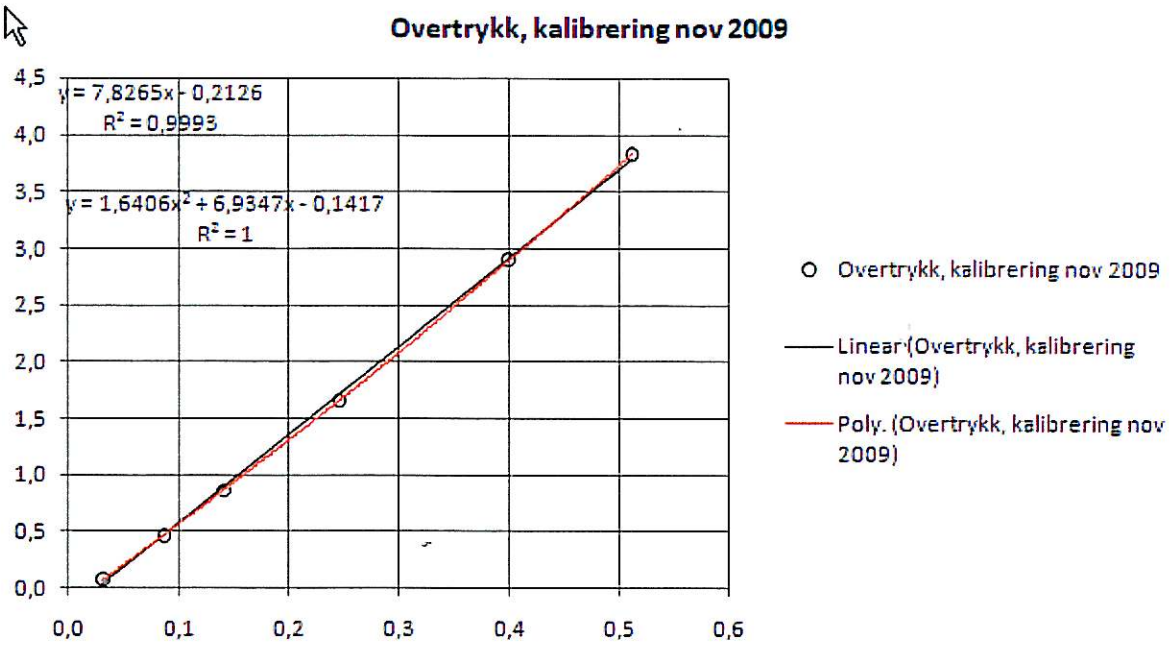
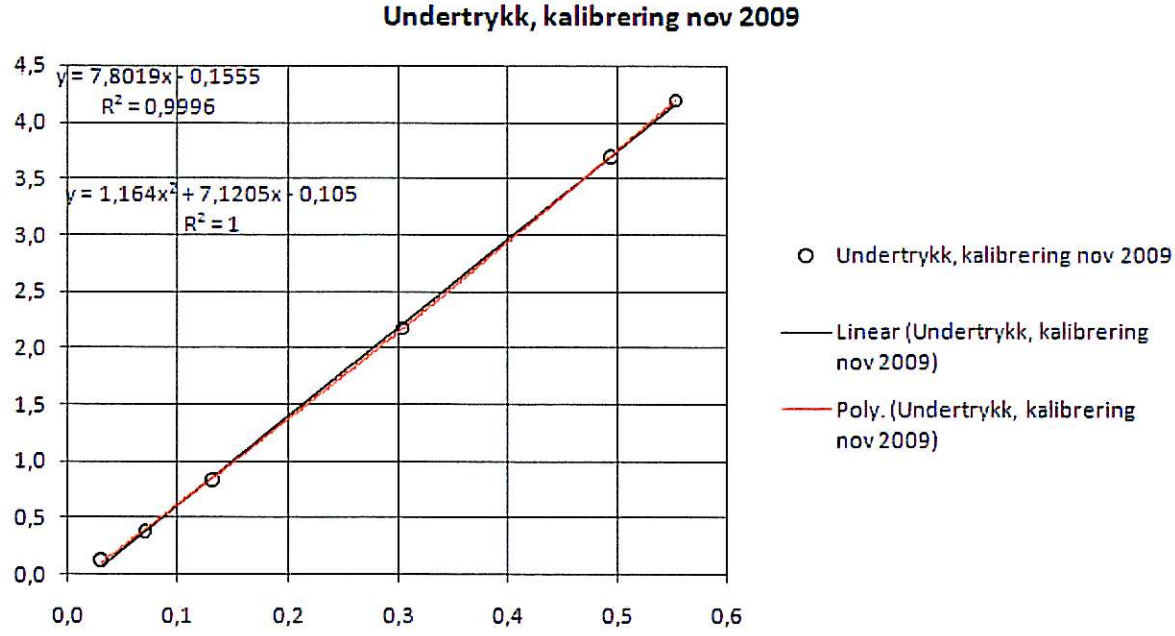


Overtrykk					
Spenning	Trykk	Luftmengde	$y = A \cdot x^b$	0,0156	
0,057	38,2	0,26	$y = A \cdot x^b$	0,7763	
0,070	54,8	0,35	$y = A \cdot x^b$	0,33	m3/h
0,085	78,1	0,46	Overtrykk	0,24	m3/h

Langskjøt

$y = 0{,}0474x^{0{,}5481}$



Undertrykk					
Spenning	Trykk	Luftmengde	$y = A \cdot x^b$	0,0547	
0,050	21,4	0,25	$y = A \cdot x^b$	0,5022	
0,075	57,0	0,44	$y = A \cdot x^b$	0,39	m3/h
0,084	74,2	0,50	Undertrykk	0,31	m3/h
			Middel	0,27	m3/h
			Pr løpemeter lengdeskjøt	0,1	m3/h

Vedlegg 3
Kalibreringskruver for luftskap, beregning av luftmengde