

BERIT TIME, STIG GEVING, KATHINKA L. FRIQUIN, STEINAR GRYNNING,
KNUT NORENG OG KNUT M. SANDLAND

Tak basert på massivtreelementer

Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold

Prosjektrapport 30

2008



SINTEF Byggforsk

Berit Time, Stig Geving, Kathinka L. Friquin, Steinar
Grynning, Knut Noreng og Knut M. Sandland

Tak basert på massivtreelementer
Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygnings-
tekniske forhold

Prosjektrapport nr. 30

Berit Time, Stig Geving, Kathinka L. Friquin, Steinar Grynning, Knut Noreng og Knut M. Sandland

Tak basert på massivtreelementer

Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold

Emneord:

Tak, massivtre, tre, fukt, varme, brann, byggdetaljer

Prosjektnummer: B21090

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1045-0

© Copyright SINTEF Byggforsk 2008

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Forord

Denne prosjektrapporten omhandler klimapåkjenninger, bygningstekniske og bygningsfysiske forhold for tak basert på massivtreelementer og er en oppsummering av arbeid utført innenfor delprosjektet *Tak basert på massivtreelementer* i prosjektet *Massivtre – egenskaper og anvendelse*.

Det er et stort behov blant utførende for byggetekniske løsninger for konstruksjoner basert på massivtreelementer og dokumentasjon av disse. Prosjektrapporten tar blant annet for seg

- aktuelle typer tak basert på massivtreelementer
- fuktproblematikk i forbindelse med denne typen tak
- U-verdier for noen utvalgte konstruksjonsløsninger
- brannegenskaper for massivtre brukt i tak

Til slutt blir det gitt noen prinsipielle anbefalinger for utførelse (byggdetaljtegninger) for tak basert på massivtreelementer

Det er i rapporten gjort en rekke henvisninger til aktuelle anvisninger i Byggforskserien. De aktuelle anvisningene er gjengitt med nummer og kan søkes opp via www.sintef.no/byggforsk.

Vi vil rette en stor takk til prosjektgruppen for støtte til utarbeidelsen av denne rapporten samt aktører i bransjen for deres bidrag ved å dele utfordringer og erfaringer i forbindelse med planlegging, prosjektering og bygging av tak basert massivtreelementer. Vi vil også rette en stor takk til våre kolleger Sigurd Hveem, Hans Boye Skogstad, Håkon Einstabland, Anne Eliassen og Trond Ramstad for bidrag og innspill underveis i dette arbeidet.

Arbeidet med innholdet i rapporten er utført av Berit Time, Stig Geving, Kathinka L. Friquin, Steinar Grynning, Knut Noreng alle fra SINTEF Byggforsk samt Knut Magnar Sandland, Treteknisk Institutt.

Trondheim, desember 2008

Berit Time
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Innhold

1.	Innledning.....	5
1.1	Formål.....	5
1.2	Bakgrunn.....	5
1.3	Krav til takkonstruksjoner.....	7
2.	Typer av takkonstruksjoner basert på massivtreelementer	9
2.1	Generelt.....	9
2.2	Kompakte tak (varme tak)	9
2.3	Lufta tak (kalde tak).....	10
2.4	Valg av takløsning	11
3.	Klimapåkjenninger og Bygningsfysiske forhold	13
3.1	Generelt.....	13
3.2	Fukttransport i kompakte tak med massivtreelementer	13
3.3	Fuktregninger for kompakte takkonstruksjoner – en parameterstudie	15
3.4	Fuktregninger - Resultater og diskusjon	17
3.5	Fuktmålinger i tak – ungdomsboliger i Hokksund.....	23
3.6	Værbeskyttet bygging	25
4	Varmeisolasjon.....	28
4.1	Forutsetninger for U-verdiberegninger	28
4.2	U-verdier for kompakt tak	28
5.	Brann.....	30
5.1	Brannsikkerhet – Kompakte tak og skrå tak med luftet kledning	30
5.2	Oppsummering av branntekniske regler	30
5.3	Massivtreelementers oppfyllelse av brannklasser.....	30
5.4	Overflater	31
5.5	Isolasjon	31
5.6	Brennbar isolasjon tildekket med ubrennbare materialer.....	31
5.7	Brennbar isolasjon som er oppdelt.....	32
5.8	Brennbar isolasjon som må erstattes	32
5.9	Elementskjøter i bærekonstruksjonen	33
5.10	Skrå tak med lufting.....	33
6.	Anbefalinger	34
7	Referanser.....	38

1. Innledning

1.1 Formål

Hensikt med rapporten er å vise hvordan massivtreelementer kan brukes i flate og skrå takkonstruksjoner. Viktige forhold ved oppbygging av tak generelt og massivtre spesielt er redegjort for. Forhold rundt fuktproblematikk, værbeskyttet bygging, varmeisolasjon og brann er vurdert og aktuelle byggedetaljer for oppbygging er vist. Rapporten inneholder fukttekniske beregninger som underlag for de foreslåtte løsningene. Som underlag for rapporten har en studert ulike byggeprosjekter i ulike faser hvor massivtre brukes i taket. Sammen med aktørene i prosjektene er aktuelle problemstillinger belyst og drøftet. I rapporten er lagt vekt på problemstillingene reist av aktørene i disse prosjektene. Rapporten vil videre danne grunnlag for utarbeidelse av anvisninger (byggedetaljer) i Byggforskserien.

1.2 Bakgrunn

Massivtreelementer er planker (lameller) som er satt sammen til elementer ved bruk av spiker, skruer, tredieler, lim eller stålstag. Massivtreelementer kan deles inn i tre kategorier avhengig av oppbygning; kantstilte elementer, krysslagte elementer og hulromselementer.

Utviklingen av massivtreelementer har sin opprinnelse fra Canada og byggemåten ble introdusert i Norge og Norden for øvrig mot slutten av 1990-tallet. En rekke bygninger er siste tiden bygd med massivtreelementer i tak og bærekonstruksjonen for øvrig. Noen eksempler er vist i figurene 1.1 – 1.6.

Massivtreelementer har mange fordeler og anvendelsesområder og anses godt egnet i takkonstruksjoner. Dette er nærmere beskrevet senere i rapporten.

For ytterligere beskrivelse av elementer og elementproduksjon vises til (Treteknisk, 2006).



Fig. 1.1
Preikestolen Fjellstue ble åpnet høsten 2008. Arkitekt: Helen & Hard. Foto: www.preikestolhytta.no



Fig. 1.2
Illustrasjon av den nye planlagte trehusbyen Siriskjær i Stavanger (Arkitekt: Studio Ludo + A.A.R.T). Foto : Studio Ludo



Fig. 1.3
Eksempel på montering av dekke av massivtreelement på vegg av massivtre. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig. 1.4
Værbeskyttet bygging gir god beskyttelse av konstruksjon og også gode arbeidsforhold for håndverkerne. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig. 1.5
Boliger bygd med massivtreelementer i taket. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig. 1.6
Ny skolebygning bygd med massivtreelementer i bærekonstruksjonen (tak, vegger og dekker).
Foto: SINTEF Byggforsk

1.3 Krav til takkonstruksjoner

Et tak skal:

- holde tett mot nedbør i form av regn og smeltevann
- ha gode avrennings- og nedløpsforhold
- bære opptredende snølaste, vindlaste og nyttelaste
- isolere mot varmetap fra oppvarmede lokaler
- eventuelt isolere mot utendørs støy
- utføres slik at det bidrar minst mulig til brannspredning
- bidra til at bygningen får en tilfredsstillende estetisk form

Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK 1997) stiller krav til byggverk. Alle byggverk skal tilfredsstillere forskriftens krav til helse, miljø og sikkerhet. Tak er spesielt nevnt i avsnitt § 8-37 om fukt. Der heter det *Tak skal ha tilstrekkelig fall slik at regn og smeltevann renner av. Dersom kondens kan oppstå på undersiden av takteking eller takteking ikke er tilstrekkelig tett til å*

forhindre inntrenging av vann, må underliggende konstruksjon beskyttes ved hjelp av et vanntett sjikt.

Første setning i § 8-37 tolkes til å omhandle flate tak. SINTEF Byggforsk definerer flate tak som tak med helning mindre enn 6° (1 : 10). Horisontale tak er ikke i henhold til krav i TEK og kan ikke brukes. Det er alltid en risiko for at feil i tekningen kan føre til lekkasjer. Erfaring viser at risikoen blir vesentlig mindre jo større takfallet er. SINTEF Byggforsk mener derfor at tak alltid bør utføres med følgende minimumsfall:

- fall på selve takflatene: større enn 1 : 40
- fall i renner og vinkelrenner: større enn 1 : 60

Andre setning i § 8-37 tolkes til å gjelde lufta tak. For lufta tak innebærer dette at det skal være et vanntett undertaksbelegg under luftespalten.

Disse generelle regler gjelder selvfølgelig også for tak basert på massivtrelementer.

2. Typer av takkonstruksjoner basert på massivtreelementer

2.1 Generelt

Takformer

Takformen bestemmes hovedsakelig ut fra ønsker om utvendig arkitektonisk uttrykk og bygningens planløsning, men også av byggemetode og type bærekonstruksjon. Valg av takform har konsekvenser for hvilke konstruksjonstyper og materialer det er mulig å bruke. Takformen har stor betydning for byggekostnadene til taket og for de nødvendige vedlikeholdskostnadene i framtiden. Tak med massivtreelementer kan bygges som kompakte (varme) tak eller som lufta (kalde) tak.

Massivtre i tak

I arbeidet med dette prosjektet har vi erfart at det blant mange aktører i bransjen hersker en ”følelsmessig” oppfatning om at tak basert på massivtre må utføres som luftede tak siden det består av trematerialer. Dette er ikke riktig. Ved bruk av massivtre i bærekonstruksjonen avhenger nødvendigheten av lufting og oppbygning av taket forøvrig i stor grad av forholdene beskrevet i de følgende avsnittene og kapitlene.

2.2 Kompakte tak (varme tak)

Kompakte (varme) tak er ikke luftet under tekningen, og skal som en hovedregel ha innvendig nedløp for regn og smeltevann. Se fig. 2.1. Slike tak kan være flate eller skrå, og må tekkes med en tekning som kan motstå periodevis vanntrykk fra oppdemmet vann.

Kompakte tak har vanligvis isolasjonssjiktet plassert på oversiden av bærekonstruksjonen, og mellom bærekonstruksjon og taktekningen må man unngå trevirke eller andre organiske materialer som kan skades av mulig kondens eller innebygd fukt i isolasjonssjiktet.

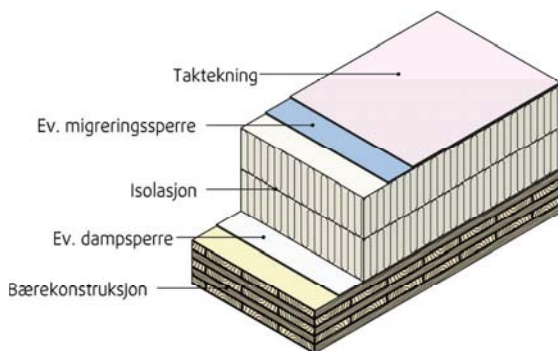


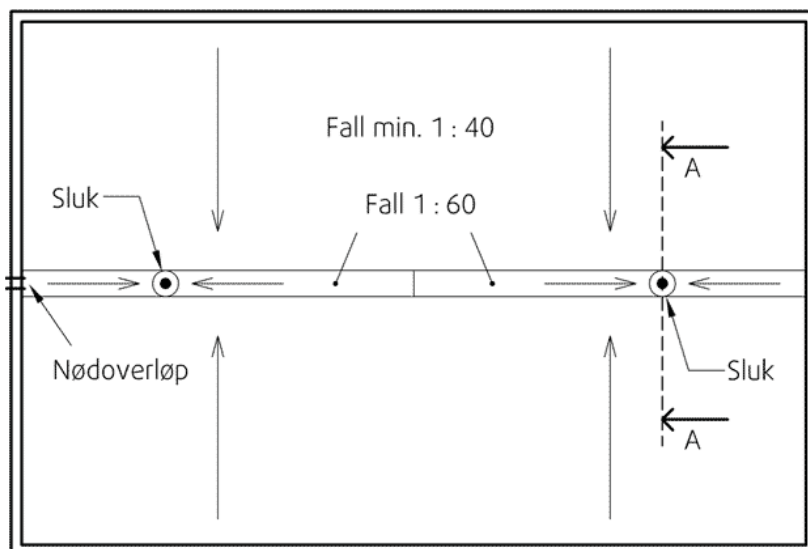
Fig. 2.1
Prinsipiell oppbygning av et kompakt tak

Fall- og avrenningsforhold

I kompakte tak over oppvarmede rom kan varmegjennomgangen fra innsiden smelte snø på taket, se også Byggforskserien 525.207 *Kompakte tak*. Smeltevannet må ledes bort fra taket på en forsvarlig måte, og nedløpet må ikke ha så lav temperatur at vannet kan fryse. Figur 2.2 viser en skisse.

Gode avrenningsforhold fra kompakte flate tak krever normalt:

- Godt fall (1:40 på flaten og 1:60 i renner
- Innvendige varme nedløp
- Isfrie sluk
- Sluk plassert i lavpunkt (ikke ved søyler og bjelker)
- Nødoverløp



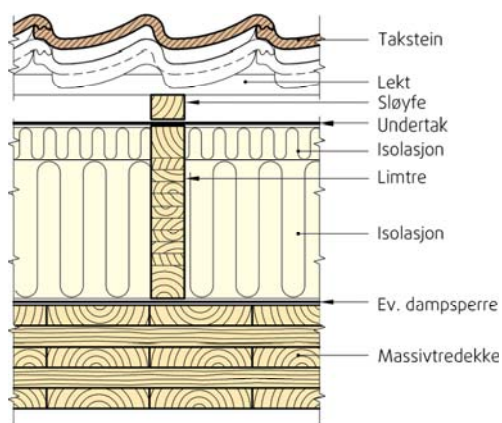
Plan

Fig. 2.2

Fall mot nedsenket renne inne på taket. Hovedfallet kan være ned til 1 : 40. Fallet i rennebunnen bør være på minst 1 : 60, og sidehellingen i renna bør være ca. 1 : 1 (45°).

2.3 Lufta tak (kalde tak)

Eksempel på lufta (kalde) tak er vist i fig. 2.3. Takflatene må ha lufting under tekningen, slik at takflaten holdes kald og snøen ikke smelter når lufttemperatur ute er under frysepunktet. For tradisjonelle sperretak av tre blir luftede tak vanligvis varmeisolert med isolasjon mellom sperrene. Det beste konstruksjonsprinsippet er imidlertid å legge isolasjonen på oversiden av bærekonstruksjonen noe som massivtrelementer er godt egnet for. Løsningen anbefales for å oppnå god varmeisolasjon uten kuldebroer og for å oppnå best mulig sikkerhet mot fuktproblemer. Dette er utredet og analysert i tidligere studier ved SINTEF Byggforsk og blant annet dokumentert i (Lisø og Stenstad 2000) og (Ramstad 1995).



SNITT A - A

Fig. 2.3
Prinsipiell oppbygning av lufta tak

Fallforhold

Lufta, skrå tak med utvendig nedløp bør ha takfall på minst 10° - 15° , avhengig av størrelse, oppbygning og materialvalg i de ytre deler av taket. Valg av taktekning og undertaksløsning er blant annet med og bestemmer nødvendig takfall. Disse forholdene er behandlet mer inngående i forskjellige anvisninger i Byggforskserien og SINTEF Byggforsk Tekniske Godkjenninger for ulike produkter for tak. Se spesielt Byggforskserien 525.101 *Isolerte skrå tretak med lufting under undertak* og 525.102 *Isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre*

2.4 Valg av takløsning

Tak med bærende massivtreelementer kan bygges som kompakte tak eller lufta skrå tak. Før en velger takform og taktype er det en del forhold som bør vurderes spesielt. Se for øvrig Byggforskserien 525.002 *Valg av konstruksjonstyper og materialer*.

En effektiv vurdering må baseres på en avveining av fordeler og ulemper ved de ulike taktypene. Innledningsvis er det nødvendig å tenke gjennom:

- hvilken funksjon bygningen skal ha (bruksområde)
- hvilken form og størrelse bygningen skal ha
- hvilket klimaforhold bygningen blir utsatt for
- avrennings- og nedløpssystem
- brannforhold

I forhold til kompakte (varme) tak gjelder spesielt

- Kompakte tak bør velges for takflater på store bygninger fordi tilstrekkelig lufting av takflater på store bygninger og flate tak generelt er vanskelig.
- Kompakte tak bør vurderes på bygninger med mange sammensatte takflater da god lufting av slike tak kan være problematisk.
- Kompakte tak tekkes med fleksible takbelegg utført slik at de tåler et visst vanntrykk, til forskjell fra tekninger og undertak på luftede konstruksjoner, som ikke er utført for å tåle stående vanntrykk.
- Kompakte tak bør velges på steder som er spesielt utsatt for snø- og regninndrev – for eksempel på høyfjellet og på steder med mye slagregn – fordi kompakte tak utføres på en slik måte at regn og snø ikke skal komme inn i taket.
- Kompakte tak kan i noen tilfeller være fordelaktig der en ønsker at takkonstruksjonen skal ha lav byggehøyde.

I forhold til luftede (kalde) tak gjelder spesielt

- Luftede skrå tak egner seg best til små og mellomstore bygg med enkle takformer. Slike tak kan bygges med utvendig nedløp, og det er enkelt å etablere tilstrekkelig lufting for å lufte vekk eventuell fuktighet fra takkonstruksjonen og holde takflaten kald i perioder da man ønsker å unngå isingsproblemer.
- Luftede tak kan også velges på steder som er spesielt utsatt for snø- og regninndrev, men takene må ha spesielt god sikring mot innblåsing av snø og regn. Dette kan gjøres ved byggetekniske detaljer og bygningskomponenter som hindrer eller reduserer inndrev.
- Luftede tak løsninger har den fordel at de har uttørkingsevne for gitte betingelser såfremt luftingen fungerer tilfredsstillende. Dette innebærer at innebygd fuktighet har evne til å tørke utover i (og utav) konstruksjonen.
- Takfallet avgjør materialbruken for luftede tak. Det bør være et takfall på minst 18° dersom man skal kunne stå relativt fritt i valg av undertak og taktekning.

3. Klimapåkjenninger og Bygningsfysiske forhold

3.1 Generelt

Fuktransport og eventuell risiko for fuktakkumulering i takkonstruksjoner med massivtre har vært den mest sentrale problemstillingen i dette prosjektet. Dette fordi det er den oftest reiste problemstillingen blant aktørene vi har vært i kontakt med i prosjektet.

Fuktproblemer i tak basert på massivtreelementer kan man se for seg i tilknytning til

- Høyt byggfuktnivå ved lukking av taket (f.eks. i forbindelse med nedbør i isolasjonssjiktet og/eller på massivtreelementet)
- Oppbygning av taket med eller uten dampsperre
- Nivå på innvendig luftfuktighet i bygning
- Luftlekkasjer fra inneluft gjennom elementskjøter og overganger mellom bygningsdeler
- Byggeteknisk svake løsninger og utførelse av detaljer knyttet til taket

3.2 Fukttransport i kompakte tak med massivtreelementer

Følgende problemer kan oppstå i en kompakt takkonstruksjon:

- Risiko for kondens og fuktakkumulering i isolasjonssjiktet.
- Risiko for høy relativ luftfuktighet (RF) i ytre del av isolasjonssjiktet som kan føre til muggvekst.
- Risiko for høy RF på ytre overflate av massivtreelementet som kan føre til muggvekst.



Fig 3.1
Overflaten av massivtreelement angrepet av biologisk vekst (se svart parti i nedre del av bildet) på grunn av ugunstige fukttekniske forhold i taket . Bilde viser ellers dampsperrsjiktet og isolasjonssjiktet. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig 3.2
Eksempel på fuktansamling i ytre del av isolasjonssjiktet i et kompakt tak basert på massivtreelementer. Foto: SINTEF Byggforsk

Slike problemer har en også erfart i praksis, se for eksempel figur 3.1 som viser at overflaten av massivtreelementet er oppfuktet og angrepet av muggvekst. Se også figur 3.2 fra et annet tak som viser fuktakkumulasjon i isolasjonssjiktet.

I forbindelse med prosjektgjennomføringen ble det gjennomført fuktregninger for ulike oppbygninger av et tak basert på massivtreelementer hvor kritiske parametre og betydningen av disse ble studert. Beregningene er i sin helhet dokumentert i (Geving 2008). De viktigste resultatene fra utredningen er gjengitt i denne rapporten.

Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak er for øvrig studert og rapportert i en egen rapport (Uvsløkk 2008).

I en luftet takkonstruksjon med bærekonstruksjon av massivtreelementer vil det, gitt at luftingen er tilstrekkelig og taket er riktig oppbygd, ikke være større risiko for fuktproblemer enn i ordinære skrå lufta tak. Et unntak er riktignok at massivtreelementer kan kreve større beskyttelse mot nedbør i byggefasen.

Behov for dampsperre i kompakte massive trectak ?

I trearkitektur og byggeteknikk har det vært stilt spørsmål om hvorvidt det bør være dampsperre i konstruksjoner med massivtre. Dette er tilfelle for både vegger og tak. I kalde klima bygger enn vanligvis trekonstruksjoner (lette bindingsverkskonstruksjoner) med et dampsperrsjikt på varm side av konstruksjonen for å hindre transport av varm fuktig inneluft ut i de kalde delene av konstruksjonen. Fukt kan transporteres ut gjennom konstruksjonen ved diffusjon eller ved luftlekkasjer (konveksjon). Både innvendig og utvendig sperresjikt bidrar til bygningens/konstruksjonsdelens lufttetthet. Fukttransportert ved luftlekkasjer representerer normalt en større risiko for fuktproblemer enn fukt transportert ved diffusjon. Dette er ytterligere behandlet i flere anvisninger fra SINTEF Byggforsk se for eksempel (Geving og Thue, 2002). Problematikken er spesielt diskutert i (Time et al., 2008).

Tørt trevirke har relativt stor dampmotstand, noe som innebærer at en tørr massiv trevegg i seg selv kan ha en dampmotstand tilsvarende anbefalt minimumsverdi for dampsperre. I dette prosjektet er det utført laboratoriemålinger for å undersøke massivtreverkets dampmotstand ved forskjellige fuktinnhold, se (Time og Bergheim 2008). Disse forsøkene undersøkte også limfugens betydning for dampmotstanden. I disse arbeidene fant en at dampmotstanden til 100 mm massivtre av gran med et gjennomsnittlig fuktinnhold tilsvarende ca. 75 % RF gir en sd-verdi på ca. 2 – 3 meter (Begrepet sd-verdi er forklart i fotnote i kapittel 3.3). Ett limsjikt¹ utgjør en dampmotstand som

¹ Lim av typen melamin: 4535 herder 5046 (fra Dynea). Mengden er ca. 300 g per m²

tilsvarende dampmotstanden til ca. 5 mm trevirke for et fuktnivå på ca. 75 % RF. Dette innebærer at limets betydning på dampmotstanden for et massivtreelement er liten.

3.3 Fuktberregninger for kompakte takkonstruksjoner – en parameterstudie

Beregningsverktøy

Hovedhensikten med beregningene var

- å undersøke behovet for egen dampspærre i kompakte tak basert på massivtreelementer
- om det bør gjøres spesielle tiltak avhengig av konstruksjonsoppbygningen og utførelsen.

Beregningene ble gjennomført ved hjelp av WUFI 1D Pro 4. WUFI er et beregningsprogram for koblet ikke-stasjonær, endimensjonal varme- og fukttransport. Programmet inkluderer fukttransport ved hjelp av vanddampdiffusjon og kapillærtransport og tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene. Fukttransport via luftlekkasjer fra innelufta er ikke inkludert. Fuktildene som ble vurdert var i tillegg til byggfukt, fuktinnhold i inne- og uteluft. I beregningene ble det benyttet reelle klimadata for flere steder i Norge. Det ble gjort beregninger over en 7-årsperiode.

Basiskonstruksjon

Beregningene er basert på en flat kompakt takkonstruksjon oppbygd med (regnet utenfra):

- Ett-lag asfalttakbelegg
- 300 mm mineralull
- 160 mm massivtreelement (limt)

Konstruksjons- og materialparametre

Med utgangspunkt i basiskonstruksjonen ble det gjennomført beregninger ved å variere ulike parametre for å analysere hvilken betydning disse hadde på. I beregningssituasjonen undersøkte en de tre risikomomentene nevnt innledningsvis i kapittel 3.2.

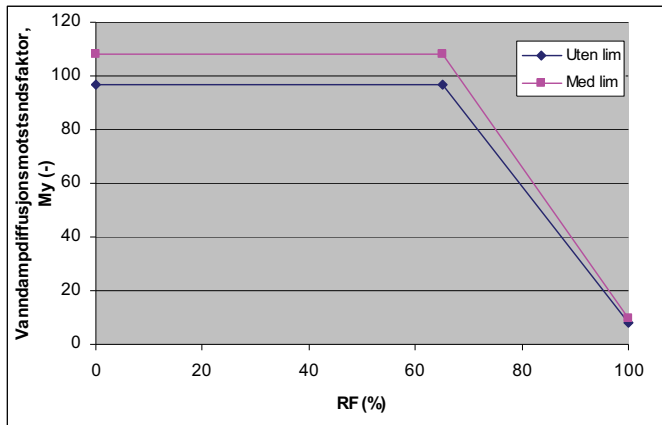
Forutsetning for beregningene

De viktigste materialparametrene brukt som inngangsdata i beregningene er vist i figur 3.3 og tabell 3.1. De målte verdiene for dampmotstand av massivtreelementene oppnådd i dette prosjektet er ikke brukt i sin helhet i beregningene da målingene ble ferdigstilt på et noe senere stadium i prosjektet. Verdiene brukt i disse beregningene er basert på tidligere måleresultater for tre og dampmotstanden for limsjiktet er anslått etter de innledende målingene i dette prosjektet.

Tabell 3.1

Verdier for ekvivalent luftlagstykkelse eller vanddampmotstandsfaktor (se forklaring i fotnote på neste side) brukt i beregningene. For sammenheng mellom ekvivalent luftlagstykkelse; s_d -verdi, og vanddampmotstandsfaktor, μ , gjelder $s_d = \mu \times \text{materialtykkelse}$

Materiallag	Ekvivalent luftlagstykkelse, S_d (m)	Vanddampmotstandsfaktor, μ (-)
Massivtre (furu) av limtre		Se figur 3.3
Massivtre (furu) uten limsjikt		Se figur 3.3
Mineralull		1,3
EPS (standard)		29 (0 % RF) – 19 (100% RF)
Asfalt takbelegg	100	
PVC takbelegg	10	
0,20 mm PE-folie	87	
Dampbrems	2	
Dampåpent undertak	0,1	



Figur 3.3
Vanndampmotstandsfaktor μ for massivtreelementene avhengig av RF-nivå, med og uten limsjikt basert på tidligere målinger.

Innetemperaturen ble satt lik 23 °C. Fukttilskuddet² i lufta er brukt som mål på fuktbelastning inne. Som standard verdi for fukttilskuddet ble det brukt en verdi på 4 g/m³ (dimensjoneringsverdi for eneboliger). Fukttilskuddet ble også variert med en verdi på 6 g/m³ (representerer lokaler/rom med høy fuktproduksjon, eller dårlig ventilasjon). For sommerperiodene ble disse verdiene redusert en del bl.a. fordi en normalt har en større ventilasjon på grunn av vinduslufting i denne perioden.

Dampmotstand

En vanlig måte (og den mest "forståelige" måten) å angi dampmotstand er ved hjelp av størrelsen vanndampmotstandsfaktor μ for materialer og som sd-verdi³ for materialer med en spesifikk tykkelse. SINTEF Byggforsk regner materialsjikt med en sd-verdi lavere enn 0,5 meter for å være dampåpne, mens materialsjikt med en sd-verdi høyere enn 10 meter betegnes som dampette.

Situasjonen med og uten dampsperre mellom massivtreelementet og isolasjonssjiktet ble undersøkt. Som dampsperre ble benyttet 0,2 mm PE-folie. En 0,2 mm PE-folie har en dampmotstand på sd= 87 meter. Tilsvarende er SINTEF Byggforsk sin anbefaling for dampsperrer på sd > 10 m. En løsning med et materialsjikt ofte benevnt som dampbrems ble også analysert. Løsningen er en mellomting mellom en løsning uten og med dampsperre og det finnes produkter på markedet i dag som har en sd-verdi ned mot 2 meter som går under denne betegnelsen. For beregningene er benyttet sd = 2 m. Det finnes per i dag ingen definert grense for sd-verdi for dampbrems. En dampbrems har den fordelen at det for enkelte konstruksjonstyper og klimasituasjoner kan bidra til en viss uttørkingsevne innover (mot inneluft), mens det for andre konstruksjonstyper og klimasituasjoner ikke nødvendigvis vil bidra til tilstrekkelig dampmotstand for å forhindre fuktvandring utover i konstruksjonen (mot kald side).

² Fukttilskuddet er definert som differansen i vanndampkonsentrasjon mellom inne- og utelufta i g/m³. Den er bestemt av fuktproduksjonen inne og ventilasjonsgraden.

³ En betegnelse som blir tatt i bruk mer og mer for materialsjikt er ekvivalent luftlagstykkelse (mer presist diffusjonsekvivalent luftlagstykkelse, også kalt sd-verdi). Denne betegnelsen angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å gi samme vanndampdiffusjonsmotstand som materialsjiktet.

For materialer med ulik tykkelse avhengig av bruk (betong, tre, mineralull e.l.) er en vanlig betegnelse vanndampmotstandsfaktor, μ . Denne størrelsen er definert som forholdet mellom vanndamppermeabiliteten til luft dividert med vanndamppermeabiliteten til det aktuelle materialet. For eksempel vil et materiale med $\mu = 100$ yte 100 ganger større motstand mot vanndampdiffusjon enn et stillestående luftsjikt med samme tykkelse. Ønsker man vanndampdiffusjonsmotstanden til en bestemt tykkelse av materialet, et materialsjikt, finner man ekvivalent luftlagstykkelse (sd-verdi) ved å multiplisere vanndampmotstandsfaktoren μ med den aktuelle materialtykkelsen.

Isolasjonssjiktets betydning

Betydningen av tykkelse på isolasjonssjiktet og ulike typer isolasjon ble også undersøkt. I tillegg til mineralull som er et svært dampåpent produkt, ble det gjort beregninger med EPS-isolasjon som har en betydelig større dampmotstand. EPS-isolasjon har en dampmotstand som er størrelsesorden 15 – 20 ganger større enn for mineralull. Det ble også gjort analyser ved å se på en konstruksjon med et relativt tynt lag med isolasjon. Hensikten med dette var å studere hvilken situasjon en kan få ved sluk/lavbrekk.

Type takbelegg

Kompakte tak tekkes oftest med enten asfalt takbelegg (som i våre simuleringer ble valgt som basiskonstruksjon) alternativt med PVC-takbelegg. PVC-takbelegg har en dampmotstand 10 ganger mindre enn asfalt takbelegg og gir en viss uttørkingsmulighet til uteluft. Betydningen av dette er analysert.

Massivtreelementenes betydning

Basiskonstruksjonen er antatt å ha et massivtredekk med tykkelse 160 mm. Betydningen av å redusere tykkelsen på dekket til 100 mm er undersøkt. Limsjiktets betydning for dampmotstanden er også undersøkt i dette prosjektet, blant annet ved å se på massivtre med og uten limfuger.

Klimaparametre

Geografisk plassering av en bygning sin betydning for fuktsituasjonen i taket ble undersøkt ved å sammenligne beregninger med klimadata for Trondheim, Oslo, Bergen og Karasjøk.

Byggfuktnivå

En av utfordringene i forbindelse med byggeprosessen for bygninger med mye treverk generelt og massivtre spesielt er nedbør og oppfukning av materialene i byggeperioden (dette omtales som byggfuktnivå). Betydningen av en evt. oppfukning i byggeperioden ble analysert. To nivåer, ett omtalt som høgt byggfuktnivå og et omtalt som lavt byggfuktnivå ble benyttet. Det ene nivået (standardnivået – dvs. lavt byggfuktnivå) skal tilsvare bygging under telt, dvs. ikke tilførsel av nedbør på massivtreelementet, men noe fuktopptak fra lufta. Ved produksjon/leveranse kan man anta et fuktinnhold på ca 8-10 vekt %, men i byggefasen vil elementet kunne ta opp noe fukt fra lufta avhengig av RF-nivået i innelufta på byggeplassen. Det er da forutsatt at elementet ved beregningsstart har et fuktinnhold tvers igjennom på ca 65 % RF (tilsvarende et fuktinnhold på ca 11,5 vekt%). Det andre nivået skal være et "worst-case"-tilfelle hvor takelementet er påkjent av regn en uke før isolering og tekking (høgt byggfuktnivå). Dette kan være situasjonen på norske byggeplasser spesielt høst og vinterstid der det ikke blir gjort tilstrekkelige tiltak for å beskytte konstruksjonene mot oppfukning i byggeprosessen.

3.4 Fuktberegninger - Resultater og diskusjon

Beregningsresultatene er vist i sin helhet i (Geving, 2008).

Ingen av beregningene viser tegn til akkumulasjon av fukt over tid (regnet over 7 år) i isolasjonssjiktet.

Fuktsituasjonen gitt som relativ fuktighet (RF) i ytre del (ytterste mm) av henholdsvis mineralullsjikt og massivtreelement er analysert da det er i disse sjiktene eventuelle problemer med høye fuktnivå og risiko for muggvekst vil kunne oppstå.

Vi vet at temperatur og type materiale har vesentlig betydning for muggvekstrisiko. Det betyr at hovedrisikoen for muggvekst er knyttet til det som skjer på den ytre overflaten av massivtreelementet. På innsiden av isolasjonssjiktet er temperaturen hele tiden høy og gunstig for muggvekst, samt at treverk er et godt vekstmedium for muggsopp.

For selve isolasjonssjiktet vet vi at risikoen for muggvekst i utgangspunktet er relativt liten, delvis på grunn av at mineralull og undersiden av tekkingen er dårlige vekstmedier for muggsopp. I tillegg er temperaturen i ytre del av isolasjonen ugunstig for muggvekst ved at når RF er høyest (om vinteren) er temperaturen lavest og ugunstig for vekst. Om sommeren når temperaturen er gunstig med hensyn på muggvekst tørker isolasjonssjiktet ut innover og RF-nivået synker. I tillegg kan temperaturen i ytre del av et kompakt tak bli så høy om sommeren at eventuell muggsopp blir drept. I forbindelse med *Klima 2000 – programmet* (Lisø og Kvande, 2007) ble temperaturvariasjoners innvirkning på muggvekst i kompakte tak undersøkt i (Heimstad, 2007) og resultatene derfra underbygger dette.

I den videre presentasjonen av resultater fra beregningene og diskusjonen legges derfor hovedvekten på fuktsituasjonen i ytre del av massivtreelementet da denne situasjonen anses mer kritisk.

Byggfukt – klimapåkjenninger i byggefasen

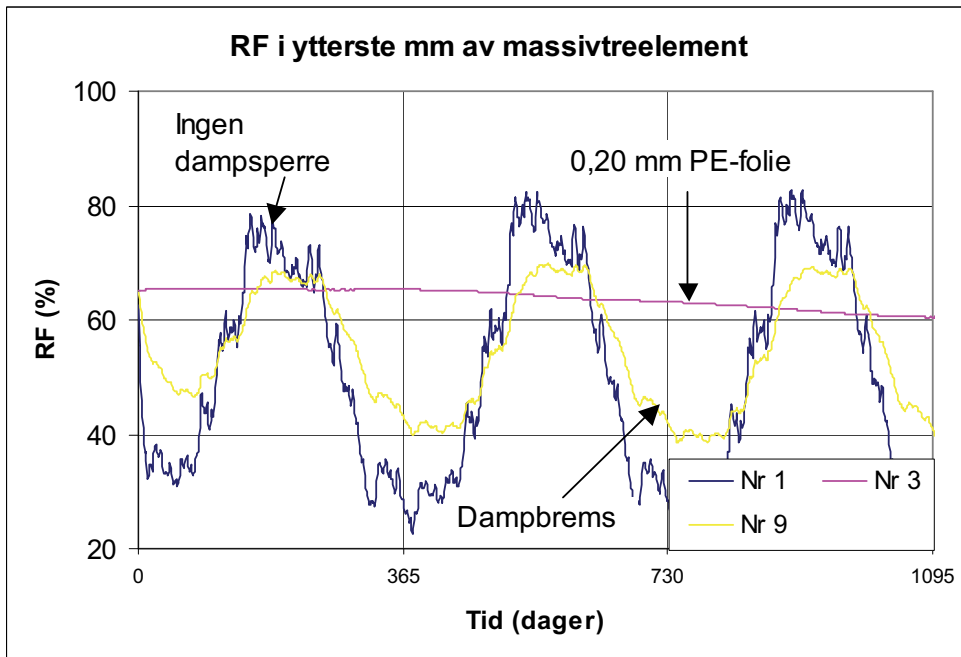
Beregningene viste at byggfuktnivået er det mest avgjørende i forhold til risiko for høyt fuktnivå (RF) og påfølgende muggvekst i de ytre delene av massivtreelementet for et kompakt tak basert på massivtreelementer.

Ved lavt byggfuktnivå viser beregningene at bruk av dampspærre er mest gunstig både med tanke på å unngå høy RF i massivtreelementet, men også med tanke på fuktnivået i ytre del av isolasjonssjiktet. Bruk av dampbrems gir noe lavere RF i treverket enn når det er ingen dampspærre. Resultatene viser også at fuktnivået i treverket stort sett holder seg under 80% RF også for tilfellet uten dampspærre, se figur 3.4. Vi bedømmer derfor risikoen for muggvekst på treverket til å være lav for alle de tre konstruksjonsløsningene *forutsatt* at konstruksjonen er tørr ved innbygging og lufttettheten er ivaretatt.

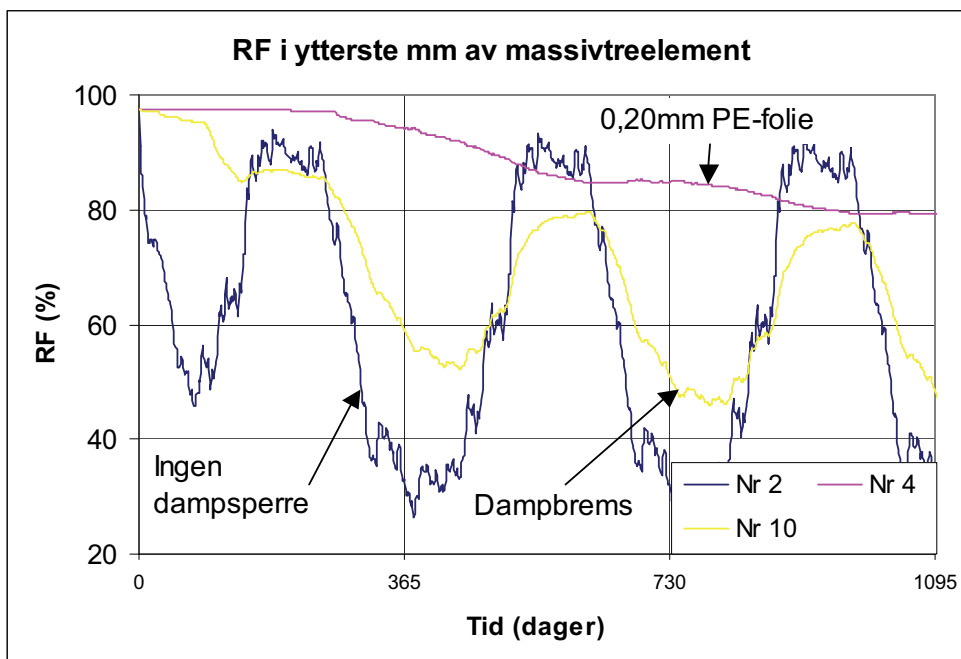
Med høyt byggfuktnivå derimot, se figur 3.5, blir konstruksjonsløsningen med 0,20 mm PE-folie mest ugunstig med tanke på fuktnivået i treverket da RF-nivået (i treverket) for denne situasjonen er svært høyt de to første årene. Dampspærren hindrer her en omfordeling av fuktigheten utover i konstruksjonen vinterstid og den innerste delen av massivtreelementet har en relativt stor dampmotstand i seg selv og bidrar til at en uttørking innover mot inneluft går veldig seint.

Tilfellet for situasjonen med høyt byggfuktnivå, men uten dampspærre er imidlertid også ugunstig da resultatene viser at RF-nivået i treverket nærmer seg 90 % på sommerstid, og at dette vedvarer i flere år. Om vinteren transporteres fukta i ytre del av treverket utover mot taktekningen, og vi får en fukttopphopning i ytre del av mineralulla. OM sommeren vil derimot taktekningen varmes opp og fukta i mineralulla vil transporteres innover mot treverket. Også her gjelder at den innerste delen av massivtreelementet har en relativt stor dampmotstand i seg selv og bidrar dermed til at en uttørking innover mot innelufta går veldig seint.

Tilfellet med dampbrems er her mest gunstig, siden de ytre deler av massivtreelementet tørker ut til under 80% relativ fuktighet (RF) i løpet av det første året. Rent praktisk kan dette tolkes som at dampbremsen bidrar til en viss transport av fuktighet ut i konstruksjonen (mot uteluft) vinterstid. Dette gjør samtidig at RF-nivået i treverket synker i motsetning til tilfellet med dampspærre. For sommermånedene bidrar dampbremsen samtidig til en reduksjon i transport av fuktighet innover i konstruksjonen.



Figur 3.4
Effekt på fuktnivået i den ytterste delen av massivtreelementet ved bruk av henholdsvis dampspærre, dampbrems og ingen sperresjikt mellom massivtreelementet og mineralullisolasjonen for et kompakt tak. Kurvene gjelder for en situasjon med **lavt** byggefuktnivå (Geving 2008).

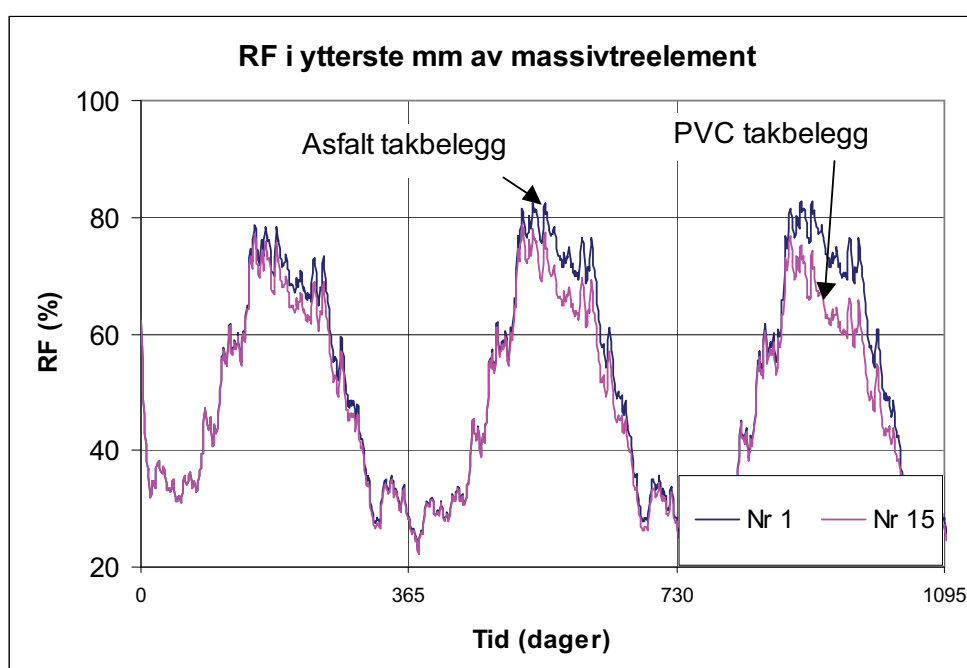


Figur 3.5
Effekt på fuktnivået i den ytterste delene av massivtreelementet ved bruk av henholdsvis dampspærre, dampbrems og ingen sperresjikt mellom et massivtreelement og mineralullisolasjonen for et kompakt tak. Kurvene gjelder for en situasjon med **høgt** byggefuktnivå (Geving 2008).

Materialvalgenes betydning

Effekten av tykkelse av massivtreelement og type massivtre (limte eller ikke limte elementer) er vurdert. Vi ser imidlertid at effekten av tykkelsen på massivtreelementet er relativt liten. Effekt av et ev. limsjikt mellom lamellene gjør heller ikke store utslag på beregningene. Dette er som ventet da de eksperimentelle målingene av vanddampmotstand for massivtre med og uten limsjikt viser små forskjeller, noe som innebærer at betydningen av limsjiktet er liten med tanke på dampmotstand i massivtreelementet. Målingene viste at dampmotstanden for et limsjikt med tykkelse og limtype som brukt i Moelven Massivtre sine elementer (se kapittel 3.2) tilsvarer dampmotstanden til ca 5 mm trevirke ved 70 % RF.

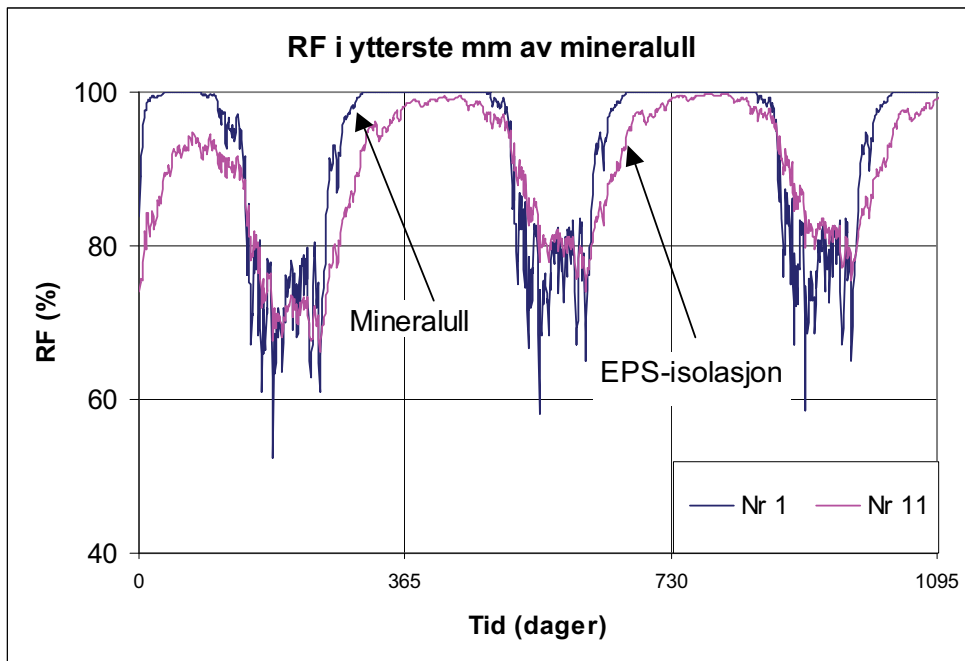
Beregningene viste at type tekning (PVC versus asfalt takbelegg) har en betydning for uttørkingsmulighetene på sommerstid. Figur 3.6 viser fuktnivået i ytre del av massivtreelementet for beregninger med lavt fuktnivå og henholdsvis PVC og asfalt takbelegg.



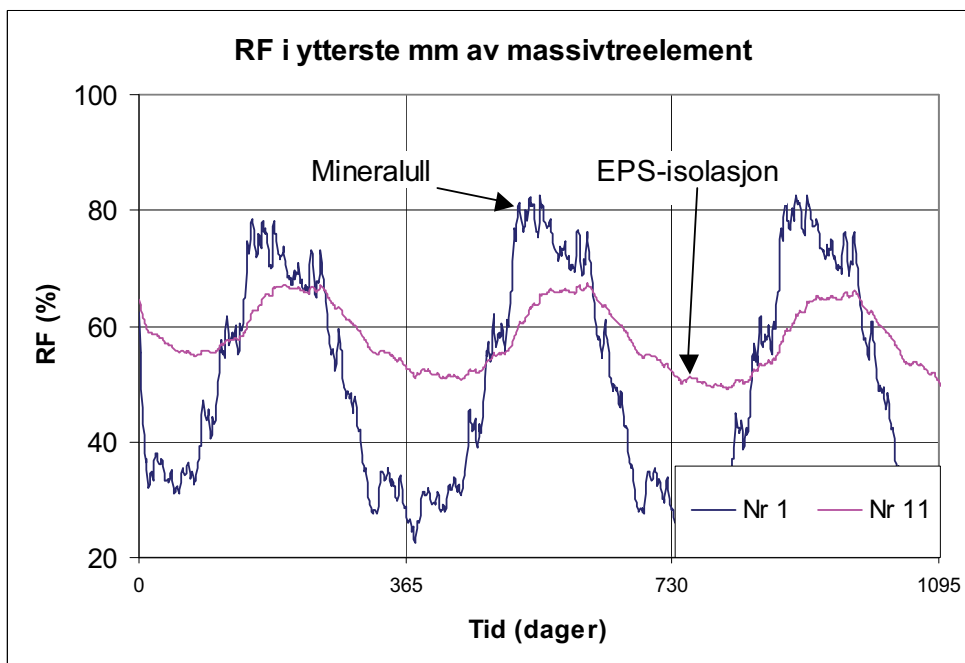
Figur 3.6

Effekt på fuktnivået for ytterste dele av massivtreelementet ved bruk av ulike typer taktekninger for et kompakt tak. Kurvene gjelder for en situasjon med **lavt** byggfuktnivå og uten dampsperre (Geving 2008)

Type isolasjon (EPS kontra mineralull) har en betydelig effekt på RF-nivå i treverk og isolasjon, se figur 3.7 og 3.8. Vi ser at med EPS-isolasjon oppnår vi gunstigere RF-nivåer både i treverk og isolasjon for situasjonen der byggfuktnivået er lavt. Dette skyldes trolig at EPS-isolasjonen har en viss dampmotstand ($s_d=6$ m for 270 mm EPS) som til dels fungerer som dampsperre /dampbrems for utadrettet fuktransport om vinteren. I tillegg vil isolasjonen forsinke fuktransport innover (mot inneluft) om sommeren når temperaturen i tekkingen blir høy – og slik sett redusere fuktnivået i treverket.



Figur 3.7
Effekt på RF-nivå i ytterste del av isolasjonen for ulike typer isolasjonsmaterialer for et kompakt tak basert på massivtreelementer. Kurvene gjelder for en situasjon med **lavt** byggefuktnivå og uten dampsperre (Geving 2008)



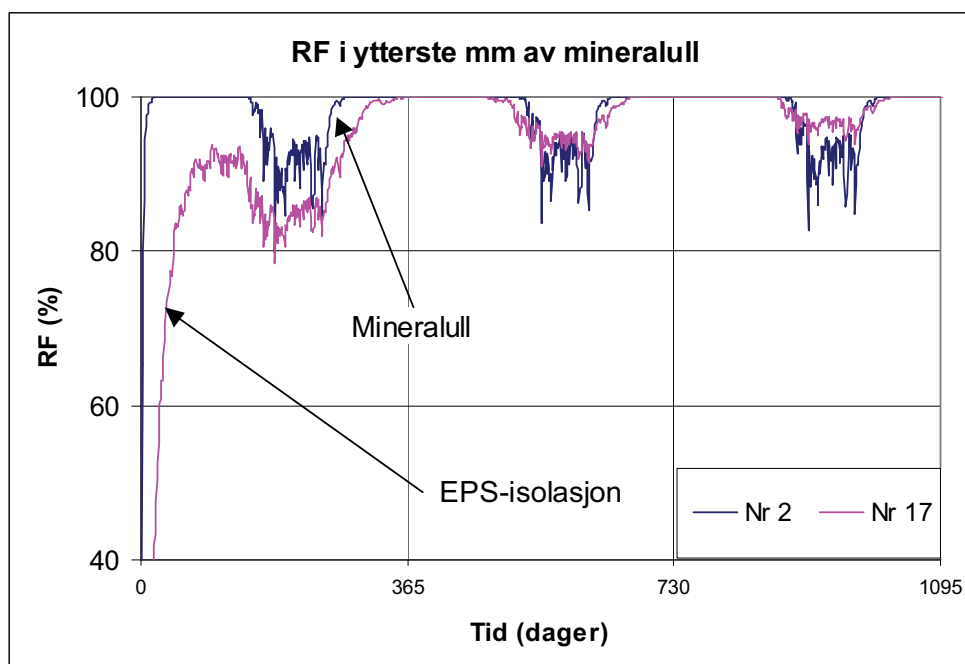
Figur 3.8
Effekt på RF-nivå i ytterste del av massivtreelementet for ulike typer isolasjonsmaterialer for et kompakt tak basert på massivtreelementer. Kurvene gjelder for en situasjon med **lavt** byggefuktnivå og uten dampsperre (Geving 2008)

For situasjonen med høyt byggfuktnivå er situasjonen noe annerledes, se eksempelvis figur 3.9. RF-nivået i de ytre delene av isolasjonen ved bruk av kun mineralull er høyere enn ved bruk av EPS-isolasjon det første året, men fra år 2 og utover er RF-nivået høyere ved bruk av EPS-isolasjon. Dette skyldes at fukten det første året bruker lengre tid på å transporteres fra treverket gjennom EPS-isolasjonen, enn tilsvarende transportvei gjennom den mer dampåpne mineralulla. Og tilsvarende - når ytre del av isolasjonen tørker innover om sommeren går transporten saktere gjennom EPS-isolasjonen

Klimapåkjenninger i bruksfasen

Inneluftas fuktnivå og geografisk plassering av bygningen har mindre betydning for fuktforholdene i et tak basert på massivtreelementer i bruksfasen. Grunnen til at inneluftas fuktnivå har liten innvirkning skyldes at massivtredekket har en relativt høy dampmotstand i seg selv. Sd-verdi er størrelsesorden 10 - 15 m for et tørt massivtredekke med 160 mm tykkelse, og til sammenligning vet vi at SINTEF Byggforsk sin anbefaling når det gjelder dampmotstand for dampsperrer er sd-verdi minimum lik 10 m. Massivtredekket vil på grunn av dette fungere som en dampsperre. Dette betyr at utadrettet fukttransport blir mindre og inneluftas fuktnivå får mindre betydning.

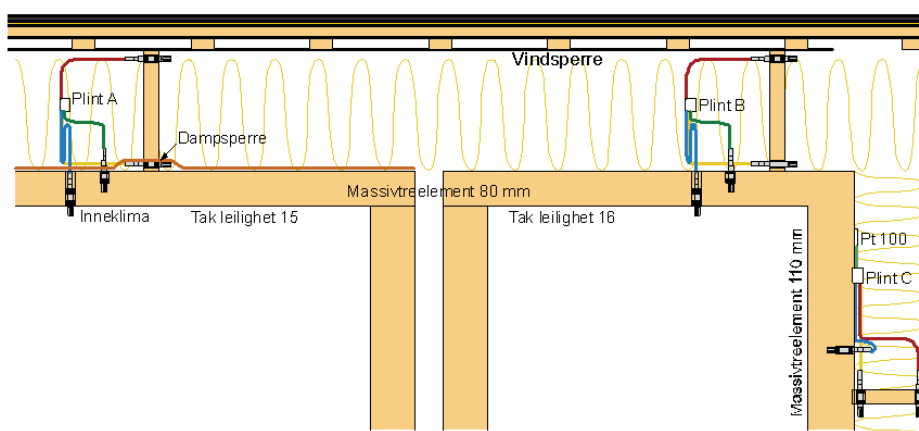
Beregningene viser at effekten av geografisk plassering (uteklima) kan vurderes å være uten praktisk betydning for fuktsituasjonen i de ytre delene av massivtreelementet og isolasjonssjiktet.



Figur 3.9
Effekt på RF-nivå i ytterste del av isolasjonen for ulike typer isolasjonsmaterialer for et kompakt tak basert på massivtreelementer. Kurvene gjelder for en situasjon med **høgt** byggfuktnivå og uten dampsperre (Geving 2008)

3.5 Fuktmålinger i tak – ungdomsboliger i Hokksund

Som en del av prosjektet *Massivtre – egenskaper og anvendelse* satte Treteknisk Institutt i gang et måleprogram i to leiligheter i en ungdomsbolig i Hokksund. Hensikten med måleprogrammet var å undersøke fuktforholdene i taket. Taket ble planlagt og instrumentert av Treteknisk Institutt. Takkonstruksjonen på bygningen er ett flatt luftet tak basert på massivtreelementer. Oppbyggingen av taket går fram av figur 3.10. Mellom massivtreelementet og isolasjonssjiktet er brukt en dampsperre (0,2 mm PE-folie) i den ene leiligheten, mens det i den andre leiligheten ikke er benyttet noen form for dampsperre. Taket er kryssløst samtidig som det har en svært dampåpen vindspærre over isolasjonen. Bygningen ble satt opp i godt vær og taket ble lagt uten at fukt i form av nedbør eller snø fuktet opp konstruksjonen, se figur 3.11.



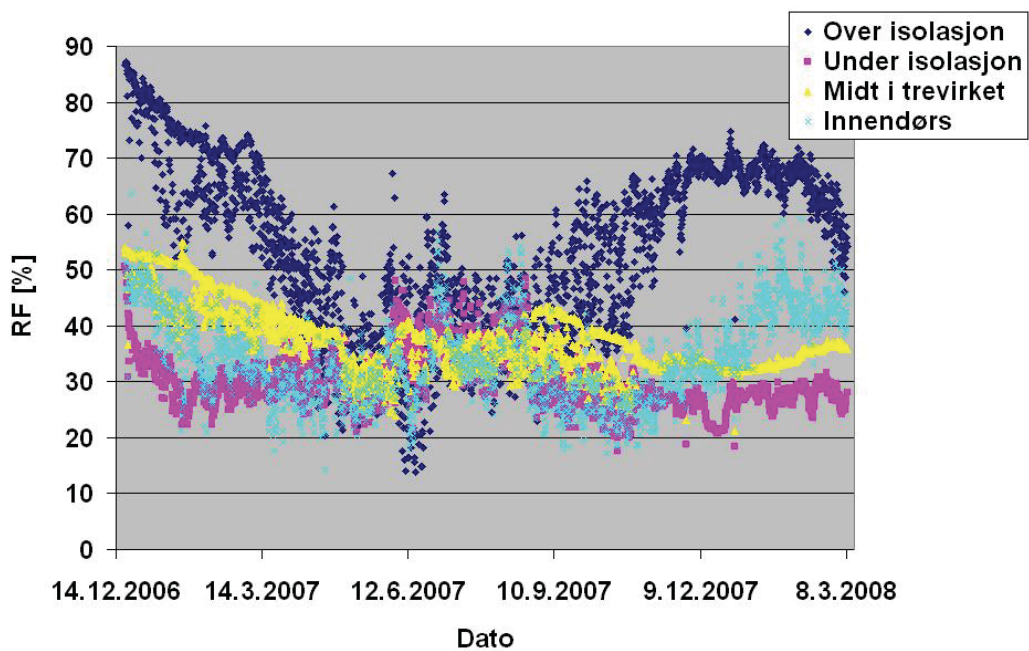
Figur 3.10

Skissen viser oppbyggingen av taket. Taket er flatt (6°), 12 meter bredt og med en luftet takkonstruksjon. Taktekningen er en 3 mm PVC-folie lagt på en 16 mm OSB-plate. Det er etablert en ventilert luftespalte på 100 mm (kryssløsting), en dampåpen vindspærre (sd-verdi ca. 0,05 m), 270 mm mineralull, dampspærre av 0,2 mm PE-folie (alternativt ikke dampspærre), 80 mm massivtreelementer (Illustrasjon; Toverød, Treteknisk Institutt, 2006).

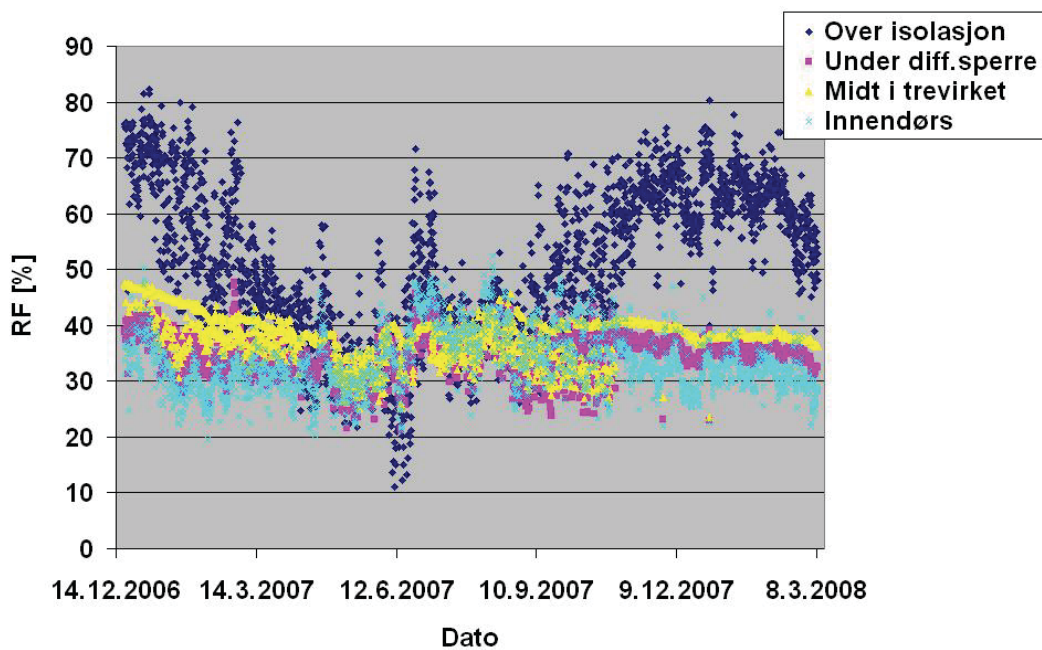


Figur 3.11

Takelementene ble montert under gode værforhold i Hokksund sent på året 2006. Foto: Treteknisk Institutt



Figur 3.12
 Relativ fuktighet målt på forskjellige steder i taket over leilighet nr 16. Taket har ikke dampsperre.



Figur 3.13
 Relativ fuktighet målt på forskjellige steder i taket over leilighet nr 15. Taket har dampsperre

Fukt-nivået (RF og temperatur) tre steder i taket i tillegg til inne i leilighetene ble logget over en periode på ett og et halvt år (desember 2006 – mars 2008). Som figur 3.12 og 3.13 viser er det bare mindre forskjeller i fuktnivå i taket i de to leilighetene og for begge takene er en godt innenfor sikkert nivå hva angår fare for høye fuktnivå i treverket og muggvekst.

Til forskjell fra konstruksjonene som er studert ved beregninger er det å bemerke at taket i Hokksund er en lufta takkonstruksjon. Flate, lufta tretak er en konstruksjonstype en har begrenset erfaring med og som man i mange tilfeller ikke har anbefalt. Men gitt at vindforholdene på stedet er gunstige med tanke på gjennomlufting, takets geometri er enkel, taket ikke er for stort og detaljutforming av inn- og utløp av luftespaltene er vel gjennomarbeidet har de normalt god uttørkingsevne. Det er erfaring for at lufting av flate tak byr på utfordringer med tanke på å sikre effektiv og tilstrekkelig lufting når takene blir store og geometrisk kompliserte. Taket i Hokksund har enkel geometri, er kryssluffet og har en bredde på 12 meter. Ut fra slike vurderinger bekrefter målingene at dette taket har tilfredsstillende selvtutørking.

3.6 Værbeskyttet bygging

Generelt

Beregningen gjennomført i de foregående kapitlene og erfaringer fra tidligere prosjekter med bygging med massivtre tilsier at en bør tilstrebe en best mulig beskyttelse av byggverk undervegs i byggefasen. Bærekonstruksjonen for et tak er intet unntak. Byggebransjen generelt er i dag mye mer opptatt av værbeskyttet bygging enn tilfellet var for bare få år siden, men det er fortsatt en veg å gå. SINTEF Byggeforsk har arbeidet med dette tema siden tidlig på 2000-tallet og utarbeidet flere publikasjoner på tema, se blant annet Noreng og Geving (2008), Noreng (2005). Flere av de utførende entreprenørene i Norge har også tilegnet seg god praktisk kompetanse på feltet i forbindelse byggeprosjekter de senere årene.

Værforholdene i Norge, spesielt om høsten og vinteren, gjør at bygging er forbundet med problemer som forsinkelser, for dårlig kvalitet, fuktskader på materialer og konstruksjoner, samt dårlige fysiske arbeidsmiljø. Alle disse forholdene har sammenheng med at konstruksjonen og arbeidsstedet er utsatt for vekslende og til dels dårlig vær. Omfanget av problemene kan reduseres ved bruk av værbeskyttet bygging.

Værbeskyttet bygging defineres normalt til å være alle planlagte tiltak for å beskytte det uferdige bygget mot nedbør i utførelsesfasen. Vedrørende nedbør er det regn som er hovedproblemet, men snø kan også medføre problemer som vi søker å unngå med værbeskyttet bygging. Adhociltak som tilfeldig tildekning av åpninger med en presenning er ikke normalt en del av begrepet værbeskyttet bygging. Tiltaket skal være planlagt i god tid før utførelse. Værbeskyttet bygging omfatter kun de planlagte tiltak for beskyttelse av bygget og konstruksjonene under monteringsfasen.

Metoder for planlagte tiltak

En bruker ofte å omtale fire metoder å utføre værbeskyttet bygging på (Noreng og Geving 2008):

- planlagte lokale tildekninger og konstruktiv beskyttelse som dags- og helgeavslutninger, tildekning av åpninger etc.
- bygging under eget tak, det vil si å benytte selve bygget som værbeskyttelse for etterfølgende arbeider
- bruk av fabrikkframstilte elementer eller større moduler som raskt gir tett bygg
- bruk av teltbaserte beskyttelsessystemer, også kalt totalinndekking eller Weather Protection Systems (WPS)

De overnevnte metodene vil normalt benyttes delvis i kombinasjon med hverandre. Bruk av teltbaserte systemer er selvfølgelig den sikreste metoden, hvor man kan oppnå en situasjon hvor

ikke noe nedbør treffer bygningen. De andre metodene er noe mer usikre og krever mer planlegging og kontroll for å gi et sikkert, godt resultat. Bygging under eget tak er selvfølgelig ikke aktuell beskyttelsesmetode for selve takkonstruksjonen

Bruk av WPS eller andre tiltak for værbeskyttet bygging må vurderes så tidlig som mulig i byggeprosessen. Det bør både foretaes en kost/nytte-vurdering og en alternativsvurdering.

I Noreng og Geving (2008) diskuteres endel varianter og eksempler på planlagte lokale tildekninger. Noen eksempler relevante for tak basert på massivtreelementer er gjengitt her.

Byggetidstekning

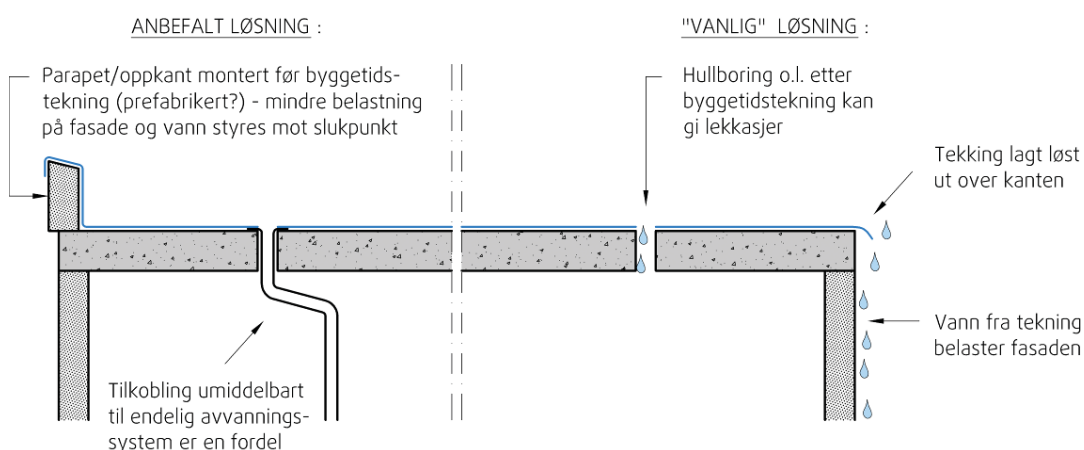
For flate kompakte tak er det ikke alltid gjennomførbart å få ferdigstilt endelig tekning og varmeisolasjon på det ønskede tidspunktet. For å oppnå tett bygg så raskt som mulig, og på det ønskede tidspunktet, er det derfor i visse tilfeller aktuelt å vurdere såkalt byggetidstekning, se figur 3.14. En byggetidstekning er et takbelegg som legges direkte på bærekonstruksjonen uten dampsperre og isolasjon. Når taket ferdigstilles, legges isolasjon og endelig tekning. Byggetidstekningen vil da fungere som (en svært solid) dampsperre. For at byggetidstekningen skal ha en funksjon må den legges som om den var den endelige tekningen, dvs. den må være vanntett i alle skjøter og overganger.

Problemet med byggetidstekninger er hvordan avvanningen skjer. Hvis avvanningen av byggetidstekningen ikke er planlagt, kan man få store lekkasjer. Det anbefales generelt at taknedløp er ferdigstilt og ført frem til slukpunktene før byggetidstekningen legges. Midlertidige sluk kan dermed tilkobles taknedløpet umiddelbart.

Hvis parapetoppbygning ikke er ferdig, må byggetidstekningen legges ut over takkanten, noe som kan føre til at store mengder vann renner ned langs fasaden. Generelt anbefales det at parapet er ferdigstilt før byggetidstekningen, slik at takvannet ikke renner ned over fasadene. Bruk av prefabrikkerte parapeter som raskt kan festes til dekkeforkant er en mulighet.

Ved takoppbygg midt på takflaten må det avklares hvordan byggetidstekning og avvanningen fra dette området skal gjennomføres. Konklusjonen blir at avvanning av byggetidstekning må planlegges, både mht midlertidige sluk og midlertidige oppkanter.

Byggetidstekning er også aktuell i forbindelse med mindre inntrukne terrasser og inngangspartier.



Figur 3.14
Byggetidstekning. Avhengig av planlegging av avvanning inklusive oppkanter vil det være forskjellig risiko forbundet med byggetidstekning. Fra Noreng og Geving (2008).

En eventuell ulempe med byggetidstekning er at dersom det blir en eller flere lekkasjer i tekningen vil nedbørvann fukte opp massivtreelementene, og uttøringen vil deretter gå svært sakte. Dette blir en situasjon tilsvarende eksemplet med høgt byggfuktnivå og dampspærre i figur 3.5.

WPS-system (Weather Protection Systems)

Med WPS-systemer forstår vi bruk av prefabrikerte teltbaserte beskyttelsessystemer. WPS kan tilpasses forskjellige behov: små eller store bygg, hel eller delvis beskyttelse av bygget, nybygg eller rehabilitering av eksisterende bygninger, med eller uten mobile deler for å lette inn- og uttransport av materialer osv. Selve innkledningen utføres med en sterk og transparent duk som er lagd for å tåle både vond og snøkrefter, og som samtidig slipper inn dagslys. WPS kan både kjøpes og leies. WPS- systemer er mer inngående behandlet i (Noreng 2005).

Figur 3.15 viser Nardo skole i Trondheim under oppførelse under full værbeskyttelse. Bygget ble oppført med en utstrakt bruk av massivtrelementer. Behovet for å beskytte massivtrelementene mot fuktskader var en viktig årsak til valg av beskyttelsestiltak. Det var usedvanlig mye nedbør i byggeperioden, og totalentreprenør er glad for valget selv om de ikke underslo at det også hadde vært enkelte problemer med logistikk og framdrift. De poengterte også at de hadde lært veldig mye og var betydelig bedre rustet til et nytt prosjekt.



Figur 3.15
Nardo skole under oppførelse under full værbeskyttelse. Foto : SINTEF Byggforsk

4 Varmeisolasjon

4.1 Forutsetninger for U-verdiberegninger

I det påfølgende er det beregnet U-verdier for et kompakt tak med massivtreelementer. Forutsetningene for beregningene er gitt i det følgende:

Beregningsgrunnlag

U-verdiene er beregnet etter NS-EN ISO 6946, se Byggforskserien 471.008. U-verdiene er basert på de generelle forutsetningene som er beskrevet og på verdiene for dimensjonerende varmekonduktivitet, λ , og varmemotstand, R, som er oppgitt i Byggforskserien 471.010. De relevante materialdataene er samlet i tabell 5.1.

Treandel

For å vurdere betydningen av eventuelle sperrer i et tak sammenlignet med tak uten sperrer er det gjort beregninger for et kompakt tak med tresperrer. U-verdien for en slik konstruksjon kan vurderes som en konservativ U-verdi for et tilsvarende lufta tak. Et kompakt tak med sperrer i isolasjonssjiktet er ut fra fuktteknisk vurderinger en dårlig løsning. For tak der det er regnet med gjennomgående tresperrer i isolasjonssjiktet er det regnet med sperrer med dimensjon 36mm og senteravstand 600 mm. Dette gir en treandel på 6 %.

Kuldebroer

Kuldebroer på grunn av mekaniske festemidler er beregnet i henhold til NS-EN ISO 6946. Det er ikke tatt hensyn til kuldebroer i tilslutningen mot andre konstruksjoner, fordi kuldebroen er avhengig av den tilstøtende konstruksjonen. Tilleggsvarmetap pga. kuldebroer er behandlet i Byggforskserien 471.015.

Korreksjon for luftåpninger

U-verdiene er i henhold til NS-EN ISO 6946 korrigert for luftåpninger i isolasjonssjiktet, se Byggdetaljer 471.008. For tak med sperrer regnes det med korreksjonsnivå 1. For tak uten sperrer regnes det med korreksjonsnivå 0.

Isolasjonsmaterialer

U-verdiene er beregnet for utvalgte verdier for deklarerert eller dimensjonerende varmekonduktivitet. Se Byggforskserien 471.010. Verdiene er representative for produkter på markedet. Dokumenterte verdier finner man bl.a. i SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning og SINTEF Byggforsk Produktsertifikat. Disse verdiene kan avvike fra verdiene som tabellene i Byggforskserien er basert på.

4.2 U-verdier for kompakt tak

Tabell 4.1 gir oversikt over materialdata og oppbygningen av taket (listet utenfra og inn) for hver av de to utførelsesvariantene (kompakt tak med og uten treandel i isolasjonssjiktet). Tabell 5.2 gir U-verdier. For varianten med tresperrer er det regnet med 18 mm taktro. Taktro inngår ikke i beregningene for tak uten sperrer.

Tabell 4.1

Materialdata og oppbygning av taket (R har enhet m²K/W, λ har enhet W/mK)

Sjikt	Tak med tresperrer	Tak uten tresperrer	Referanse
Utvendig overgangsmotstand	R _{se} = 0,04	R _{se} = 0,04	ISO 6946:2007
Taktekking	R = 0,03	R = 0,03	Byggforskserien 471.010
Taktro	λ = 0,13	-	Byggforskserien 471.010
Varmeisolasjon	Se tabell 2 ¹⁾ for λ _{iso}	Se tabell 2 ¹⁾ for λ _{iso}	Byggforskserien 471.010
Dampsperre	R = 0,03	R = 0,03	Byggforskserien 471.010
Massivtre takelement	λ = 0,13	λ = 0,13	Byggforskserien 471.010
Innvendig overgangsmotstand (oppadrettet varmestrøm)	R _{si} = 0,10	R _{si} = 0,10	ISO 6946:2007

1) Her refereres til tabell 2 i Byggforskserien 471.010

Tabell 4.2 Beregnede U-verdier(W/m²K) for kompakt tak med massivtreelementer

Tykkelse massivtre (mm)	Tykkelse isolasjon (mm)	Tak med tresperrer	Uten tresperrer	
		λ _{iso} = 0,037 W/mK	λ _{iso} = 0,034 W/mK	λ _{iso} = 0,037W/mK
160	200	0,16	0,14	0,15
	300	0,12	0,10	0,11
200	200	0,15	0,13	0,14
	300	0,12	0,10	0,10
240	200	0,15	0,13	0,13
	300	0,11	0,09	0,10

En ser av tabell 4.2 at tak med treandel på 6 % får en økt U-verdi 0,01 -0,02 W/m²K.

Kravet til U-verdi for tak i Teknisk Forskrift i forhold til energiltaksmodellen er 0,13 W/m²K. Teknisk Forskrifts minstekrav til U-verdi for tak er 0,18 W/m²K. Ved bruk av såkalt "kompenserende tiltak" for oppfyllelse av energikravene i forskriften ser en ofte på muligheten for å oppnå en bedre U-verdi for nettopp taket for eventuelt å kunne velge en dårligere U-verdi for en annen bygningsdel (eksempelvis vegg).

5. Brann

5.1 Brannsikkerhet – Kompakte tak og skrå tak med luftet kledning

Generelt

Kompakte tak med massivtrekonstruksjoner kan oppnå relativt høy brannmotstand dersom de planlegges og dimensjoneres riktig, og tettheten mellom elementene og rundt gjennomføringer ivaretas. *Teknisk forskrift 1997* (TEK) begrenser ikke bruken av massivtre i bærende konstruksjoner, men angir i §7-23 ulike funksjonskrav til bæreevne og stabilitet i brannklasse 1, 2 og 3, se TEK tabell §7-23. Byggverk i brannklasse 1 og 2 skal bevare bæreevne og stabilitet i den tiden som er nødvendig for rømning og redning, mens byggverk i brannklasse 3 skal ha bærende hovedsystem som bevarer stabilitet og bæreevne gjennom et fullstendig brannforløp. For bygninger i brannklasse 3 med bærende trekonstruksjoner må brannsikkerheten dokumenteres utførlig av ansvarlig prosjekterende i hvert enkelt tilfelle. Kompakte tak med bærende massivtreelementer kan brukes i brannklasse 1, 2 og 3. Yttertak som er med på å stabilisere bygningen, eller deler av denne, blir å anse som del av bygningens bærende hovedsystem. Yttertak som bare bærer sin egen vekt og snølast blir å anse som sekundært bærende bygningsdel. Det finnes ulike typer massivtreelement med ulik brannmotstand og tetthet.

5.2 Oppsummering av branntekniske regler

Branncellebegrensende bygningsdeler har tilstrekkelig bæreevne og brannmotstand til å hindre rask brann- og røykspredning når de oppføres i samsvar med ytelser gitt i Tabell 5.1, fra §7-23 i veiledningen til TEK.

Tabell 5.1

	Brannklasse 1	Brannklasse 2	Brannklasse 3
1) Isolasjon	1) A2-s1,d0 *	1) A2-s1,d0 *	1) A2-s1,d0 *
2) Bærende hovedsystem	2) R 30 / EI 30**	2) R 60 / EI 60**	2) R 90 / EI 60**
3) Sekundært bærende bygningsdel	3) R 30 / EI 30**	3) R 60 / EI 60**	3) R 60 / EI 60**
4) Tekning	4) Ubrennbar eller B _{ROOF} (t2) [Ta]	4) Ubrennbar eller B _{ROOF} (t2) [Ta]	4) Ubrennbar eller B _{ROOF} (t2) [Ta]

* Ubrennbare eller begrenset brennbare materialer tilfredsstiller klasse A2-s1,d0. Annen isolasjon kan likevel benyttes dersom for eksempel alle flater av isolasjonen tildekkes, eller isolasjonen brytes ved branncellebegrensende konstruksjoner. Se kapittel 5.6, 5.7 og 5.8.

** Dimensjoneres for brannpåkjenning fra vilkårlig side.

5.3 Massivtreelementers oppfyllelse av brannklasser

Brannmotstandskrav for bærende bygningsdeler ut fra brannklasse er gitt i veiledningen til TEK, og nedenfor er bruken av massivtre i de ulike brannklassene vurdert.

Brannklasse 1

Massivtreelementer kan brukes i bærekonstruksjonen ved å følge Veiledning til Teknisk forskrift 1997 (REN) uten avvik og på den måten oppfylle funksjonskravene gitt av TEK. Forsøk har vist at elementene kan tilfredsstille krav om 30 minutters brannmotstand, og krav til overflater i brannceller som ikke er rømningsvei, D-s2,d0.

Brannklasse 2

Nødvendig tid til rømning og redning er i veiledningen til TEK angitt til 60 minutter. Veiledningen anbefaler at bærende hovedsystem utføres i ubrennbare materialer (Euroklasse A2-s1,d0). Det er imidlertid vist gjennom forskning og dokumentasjon beskrevet i blant annet *Brandsäkra trähus* (Trätec, 2002) og *Fleretasjes trehus Hefte 3-Brann* (Byggforsk, 2003) at forskriftens funksjonskrav kan ivaretas også i fleretasjes boligbygninger med bærende trekonstruksjon. Det forutsettes at

nominell brannmotstand for bærende og skillende konstruksjoner, og øvrige ytelser og ytelsesnivåer, minst er i henhold til veiledningen til TEK.

Brannklasse 3

For bruk av massivtreelementer i brannklasse 3 må brannsikkerheten dokumenteres utførlig av ansvarlig prosjekterende i hvert enkelt prosjekt. Det skal dimensjoneres for et fullstendig brannforløp, som antas å være beskrevet av parametriske brannforløp beskrevet i Eurokode 1 Del 1-2.

5.4 Overflater

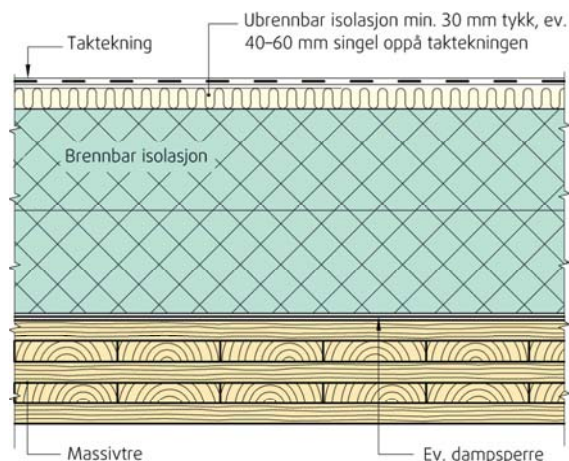
Massivtreelementer oppbygd av sammenlimte krysslagte lameller lagt i flere sjikt klassifiseres som overflate D-s2,d0 i henhold til NS-EN 13501-1 uten ytterligere testing, se *Official Journal of the European Union* L 208/21 og Byggforskserien 520.321. I brannklasse 1 og brannceller inntil 200 m² i brannklasse 2 kan massivtre brukes som overflater utenfor rømningsvei på golv, vegger og i tak, mens for brannceller over 200 m² i brannklasse 2 kan massivtre brukes på golvet og brannimpregnert massivtre kan brukes på vegger og i tak. I rømningsveier kan det benyttes eksponert trevirke på golv, D_n-s1, mens det må benyttes brannimpregnert trevirke på vegger og i tak, B-s1,d0. Ved bruk av aktive brannsikringstiltak, som for eksempel sprinkling, kan bruken av vanlig trevirke utvides dersom brannsikkerheten dokumenteres ved analyse.

5.5 Isolasjon

I henhold til veiledningen til TEK (§ 7-24 pkt.2) må isolasjonsmaterialer i takkonstruksjoner som hovedregel være ubrennbare. Brennbar isolasjon, for eksempel skumplast, kan likevel brukes der det ikke stilles krav om ubrennbare materialer. Det forutsettes imidlertid at brennbar isolasjon ikke bidrar til uakseptabel brannspredning. Det vil si at brennbar isolasjon enten må være tildekket eller oppdelt i arealer på høyst 400 m². Se flere detaljer i (TPF informerer nr. 6 Rev. 2006), Byggforskserien 520.339 og 525.207. Andre løsninger er også mulige dersom brannsikkerheten er dokumentert.

5.6 Brennbar isolasjon tildekket med ubrennbare materialer

Takflater med brennbar isolasjon må tildekkes på oversiden med eller bygges inn mellom ubrennbare materialer slik at oksygentilførselen hindres. Tilstrekkelig tildekning kan være 30 mm ubrennbar isolasjon eller et 40–60 mm tykt lag med singel eller betongheller som er lagt tett, se figur 5.1. Oksygen må heller ikke kunne komme til under isolasjonen. Forutsatt at det tettes spesielt ved gjennomføringer og i elementskjøter, gir massivtreelementer med minst 100 mm tykkelse tilfredsstillende tetthet i brannklasse 1 og 2. For brannklasse 3 må tettheten dokumenteres spesielt. En prøvingsrapport fra Tresenteret i Trondheim (Landrø 2006) viser at et dekke av krysslimte massivtreelementer med to langsgående skjøter der elementene ble lagt kant i kant og skrudd sammen gjennom nedfreste bord på oversiden av dekket kan opprettholde tetthet og integritet i mer enn 90 minutter eksponert for en standard temperatur – tid brannkurve. Se for øvrig Byggforskserien 520.339 og 525.207.

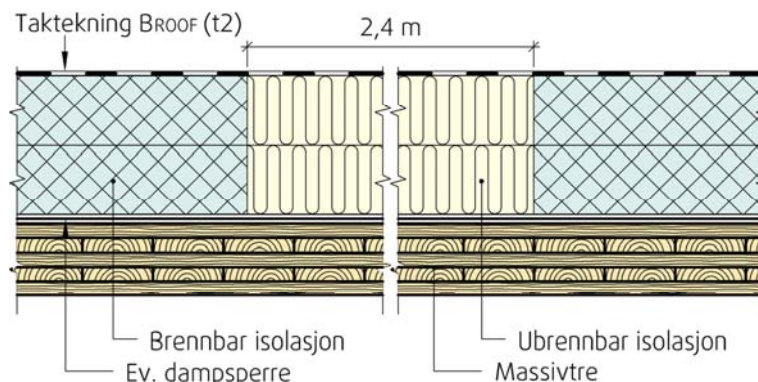


Figur 5.1

Eksempel på utførelse. Brennbar isolasjon som er tildekket med ubrennbart materiale. Dersom det er tvil om konstruksjonens tetthet (skjøteløsningen mellom elementene) kan brennbar isolasjon beskyttes over og under med 30 mm ubrennbar isolasjon. Se for øvrig (TPF informerer nr. 6 Rev 2006).

5.7 Brennbar isolasjon som er oppdelt

Som alternativ til å dekke til brennbar isolasjon kan takflater med brennbar isolasjon deles opp i arealer på høyst 400 m². Takflaten deles opp ved å legge inn minst 2,4 m brede felter av ubrennbar isolasjon, se figur 5.2. Over seksjoneringsvegg eller brannvegg må brennbar isolasjon erstattes av ubrennbar isolasjon i et felt med bredde på minst 2,4 m (1,2 m til hver side). Se for øvrig Byggforskserien 520.339 og 525.207.



Figur 5.2

Eksempel på utførelse. Brennbar isolasjon som er oppdelt. Brennbar isolasjon skal brytes av et 2,4 m bredt felt med ubrennbar isolasjon for hver 400 m².

5.8 Brennbar isolasjon som må erstattes

Brennbar isolasjon skal erstattes med ubrennbar isolasjon i bredde på minst 600 mm mot konstruksjoner som:

- parapet/gesims, vegg eller fasade av brennbare materialer
- brannvegg eller seksjoneringsvegg som er ført over tak
- rundt alle gjennomføringer

– rundt takvinduer, takluker mv.

Se Byggforskserien 520.339, 525.207 og (TPF informerer nr. 6 Rev 2006) for nærmere detaljer. Detaljene disse stedene er ikke utarbeidet for massivtreelementer, men prinsippene for utførelse blir de samme.

5.9 Elementskjøter i bærekonstruksjonen

Der det er krav til integriteten til bygningsdelen skal skjøtene mellom elementer og ved overgangen til andre bygningsdeler være tette, og det må også tettes rundt gjennomføringer. Dette kan for eksempel gjøres ved å bruke tettelisten i not- og fjærsammenkoblinger. Dersom fugene ikke er tette må det enten legges ubrennbar isolasjon eller annen godkjent ubrennbar tetning over fugen i 600 mm bredde, eller det legges et lag med minst 30 mm tykk ubrennbar isolasjon over hele bærekonstruksjonen. Se Byggforskserien 525.207 for detaljutførelse.

Flere eksempler på detaljer for kompakte tak er gitt i Byggforskserien 520.205, 520.342, 520.339, 520.325, og (TPF informerer nr. 6 Rev 2006).

5.10 Skrå tak med lufting

Massivtreelementer brukt i skrå tak bør avsluttes ved yttervegg (takfot) slik at tettheten i overgangen mellom yttervegg og tak kan sikres ved at sperresjikt i tak og vegg kan sammenføres. Brennbar isolasjon må tildekkes på oversiden med glassfiberduk eller platematerialer, for eksempel gipsplater, for å forsinke antennelse nede ved takfoten, og for å dempe brannutviklingen i isolasjonen. Se for øvrig Byggforskserien 520.308 og (Lisø og Stenstad 2000).

I Lisø og Stenstad (2000); Prosjektrapport 266 *Fuktsikre isolerte skrå tretak (FIST) – Forstudie* er det påpekt noen branntekniske forhold som bør undersøkes nærmere:

- lufttetting i overgang yttervegg/tak.
- brannutvikling over store flater, dvs. fullskala brannutvikling i tak med ulike typer tekning, både for ventilerte og kompakte tak.
- brannpåkjenning fra innsiden for å klarlegge gjennombrenningstid for alternative himlingsløsninger og videre brannspredning i taket.
- løsninger ved gjennomføringer. Eksisterende løsninger er primært angitt med tanke på ubrennbart underlag (betongdekker og lignende).

Flere av disse problemstillingene/aspektene er gyldige også for tak basert på massivtreelementer. Disse problemstillingene er fortsatt helt eller delvis uavklarte og videre ytterligere studier er nødvendig.

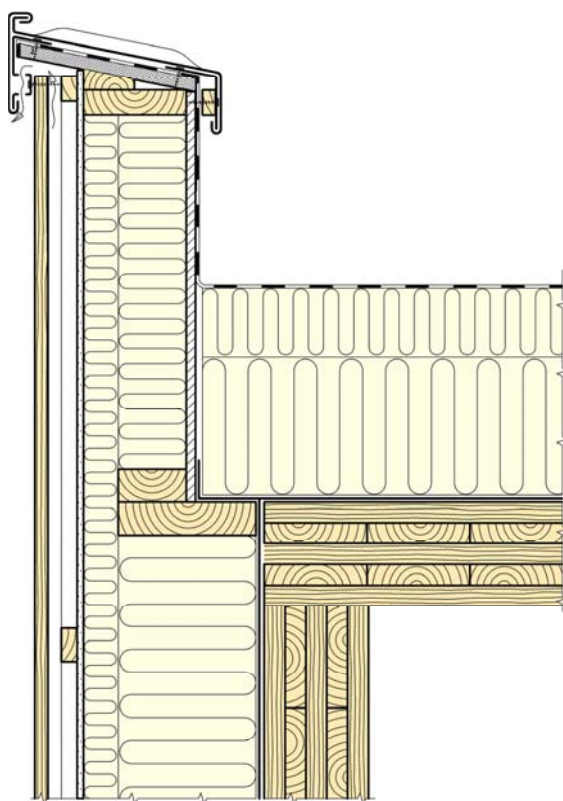
6. Anbefalinger

I dette prosjektet har vi økt kunnskapsnivået om tak basert på massivtreelementer gjennom å følge et utvalg byggeprosjekter under ulike stadier i planleggings-, prosjekterings- og utførelsesfasen, det er gjennomført beregninger og teoretiske studier og det er gjennomført eksperimentelle arbeider i felt og i laboratoriet. Med basis i dette samt instituttets praktiske og teoretiske erfaringer med trekonstruksjoner generelt og takkonstruksjoner spesielt⁴, kan vi gi følgende anbefalinger i forhold til tak basert på massivtreelementer.

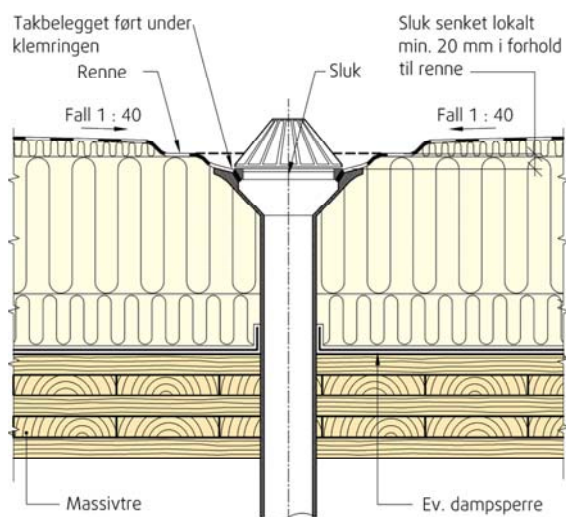
- Tak basert på massivtreelementer kan utføres som kompakte tak eller lufta tak etter samme prinsipp som tak basert på andre bæresystemer for bygninger med normal bruk (eksempelvis boliger, kontorbygg og skoler).
- Fra figur 6.1 til 6.7 vises eksempler på prinsipper for utførelse av kompakt takløsninger og lufta takløsninger basert på massivtreelementer
- Massivtreelementer bør absolutt ikke utsettes for nedbør i forbindelse med bygging, og vi anbefaler at planlagt byggetidsbeskyttelse som telt eller lignende benyttes i forbindelse med oppføring av massivtrekonstruksjoner
- Tak basert på massivtreelementer kan bygges uten tradisjonell dampsperre forutsatt at lufttettheten mellom elementene i taket, mellom tak og vegg og i bygningen forøvrig er godt ivaretatt⁵. Dampbrems kan være et godt alternativ til dampsperre for tak basert på massivtreelementer

⁴ Eksempler på nyere åpne rapporter og artikler er (Noreng 2003), (Noreng 2005), (Holme et al. 2008) og (Uvsløkk 2008)

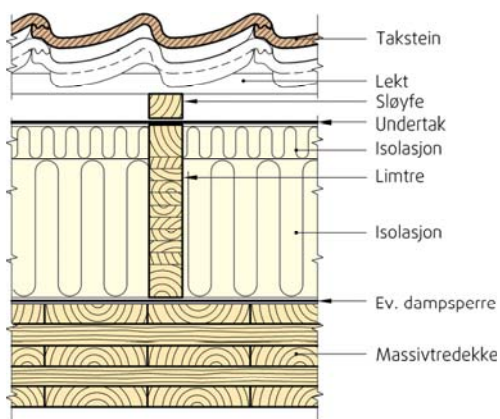
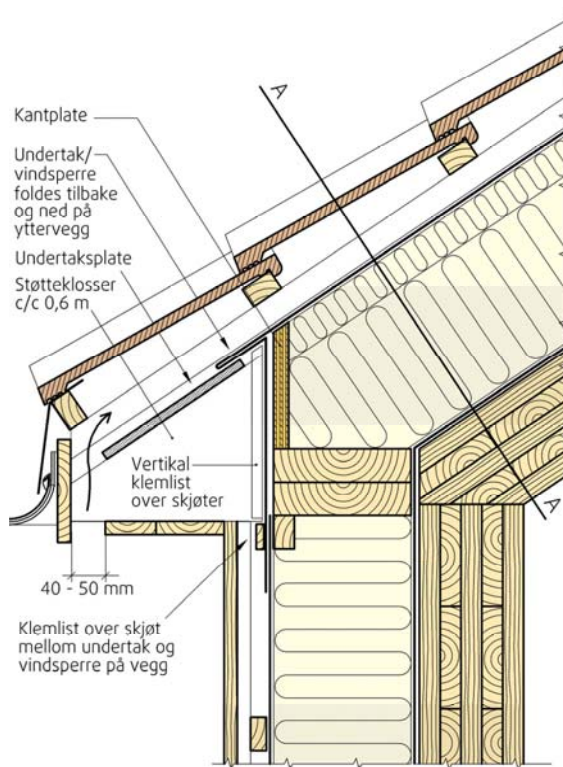
⁵ I prosjektet *Massivtre- egenskaper og anvendelse* har en ikke studert lufttetthet for massivtrekonstruksjoner. Dette er foreslått som et tema i et evt. nytt prosjekt om bygging med massivtreelementer.



Figur 6.1
 Eksempel på utførelsesprinsipp og overgang til vegg for et kompakt tak basert på massivtrelementer.

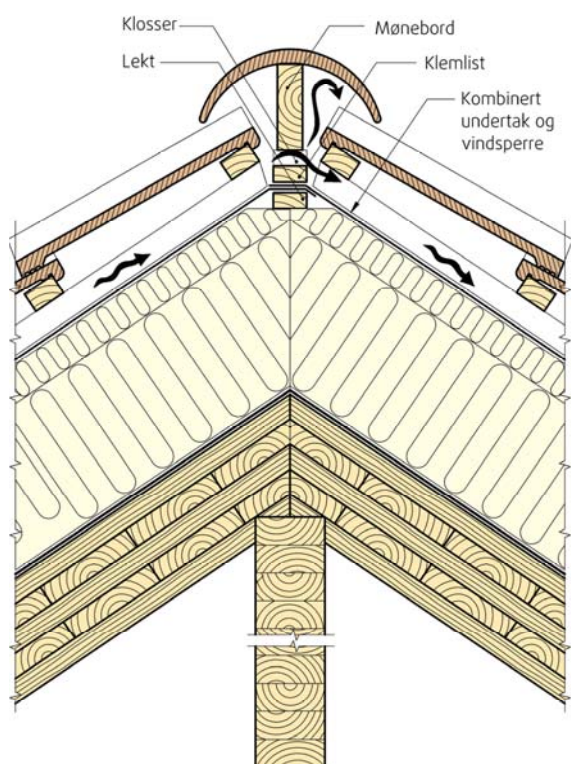


Figur 6.2
 Eksempel på utførelsesprinsipp for sluk på kompakt tak av massivtre.



SNITT A - A

Figur 6.3
Eksempel på utførelsesprinsipp for overgang mellom vegg og tak for et luftet skrått tak basert på massivtreelementer



Figur 6.4
Eksempel på utførelsesprinsipp ved møne for et luftet skrått tak basert på massivtreelementer

7 Referanser

<http://bks.byggforsk.no/>

Gyldige blader i Byggforskserien fra SINTEF Byggforsk – de ulike anvisningene er gjengitt med nummer i rapporten. Spesielt omtales anvisninger i 520-serien, 525-serien, 471-serien

Byggforsk, 2003

Fleretasjes trehus. Håndbok 51 Hefte 3 – Brann., Byggforsk, Oslo 2003

Eurokode 1. NS-EN 1991, 2003

Laster på konstruksjoner. Del 1-2 Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann (2003)

Geving, S. (2008)

Fuktberegninger for kompakt tak med bærekonstruksjon av massivtre, SINTEF Byggforsk
Utredning B21090.01, 22 mai 2008.

Heimstad, A. (2007)

Risiko for muggvekst i taket på Voll forsøkshus, Institutt for bygg, anlegg og transport,
Prosjektoppgave, NTNU, Trondheim

Holme, J., Noreng, K. and Kvande T., (2008)

Moisture and Mould Growth in Compact Roofs – Results from a Three-Stage Field Survey.
Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries (C. Rode ed)
Report R-189, Dept. of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby

http://www.be.no/beweb/prodfor/produkt/gulam_laminatgulv_mm.pdf

Lisø K.R., Stenstad V. (2000)

Fuktsikre isolerte skrå treetak (FIST) – Forstudie, Prosjektrapport 266, Byggforsk 2000.

Landrø, H. (2006)

Brannteknisk prøving av bærende massivtredekke. Prøvingsrapport, Tresenteret i Trondheim.

Lisø, K.R., Kvande T. (2007)

Klimatilpasning av bygninger Sluttrapport fra Klima 2000. SINTEF Byggforsk, Oslo

Noreng, K. (2005)

Værbeskyttet bygging med weather Protection Systems (WPS) – Delrapport fra prosjekt 12 i FoU-programmet Klima 2000, Rapport 119, Byggforsk, Oslo.

Noreng, K., (2003)

Fukt i kompakte tak (fase 1). Prosjektrapport 351, Byggforsk, Oslo.

Noreng, K., (2005)

Fukt i kompakte tak. Resultater fra feltundersøkelse i to faser. Prosjektrapport 391, Byggforsk, Oslo.

Noreng, K., Geving, S. (2008)

Værbeskyttet bygging – Beskyttelse av uferdige bygg mot nedbør, Rapport 4, SINTEF Byggforsk, Oslo.

NS-EN 13501-1 (2007)
Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler. Del 1 Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning

NS-EN ISO 6946:2007
Bygningskomponenter og -elementer - Varmemotstand og varmegjennomgang - Beregningsmetode (ISO 6946:2007)

Official Journal of the European Union L 208/21, datert 11.8.2005.

Ramstad T., (1995)
Fuktsikre isolerte skrå tretak – pilotprosjekt i Wergelandsveien 27, Oslo Oppdragsrapport N6640/2A, Byggforsk, Oslo 22.04.95

Ramstad T., (2006)
Vanndampmotstand til massivtreelementer, Notat til deltakere i prosjektet ”Massivtre – egenskaper og anvendelse”, O 21090, Byggforsk 15.03.2006

TEK 1997
Teknisk forskrift (TEK), Statens bygningstekniske etat, Oslo 1997

Time B., Geving S. og Sandland, K.M. (2008)
Massive timber elements in roofs – moisture performance, Nordic Symposium on Building Physics, Copenhagen 16 – 18 June 2008.

Time B. og Bergheim E. (2008)
Vanndampmotstand i massivt tre – laboratoriemålinger, Oppdragsrapport B21700.04, SINTEF Byggforsk, 20 desember 2008.

Time, B., Geving, S. og Mangor-Jensen, O. (2008)
Dampmotstand i lette bindingsverkskonstruksjoner, Nytt fra SINTEF Byggforsk, Byggeindustrien nr. 2/2008, s 66, Bygg og Anlegg Media, Oslo

TPF informerer nr. 6. Rev. (2006)
Branntekniske konstruksjoner for tak. Takprodusentenes forskningsgruppe, Trondheim.

Treteknisk, (2006):
Håndbok – bygge med Massivtreelementer, Teknisk håndbok nr. 1 ISBN 82-7120-000-3, Norsk Treteknisk Institutt 2006

Träteck (2002)
Brandsäkra trähus. Version 2, Träteck, Sverige 2002.

Uvsløkk S. (2008)
Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak. Prosjektrapport 19. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Veiledning til Teknisk forskrift (REN) (1997), Statens bygningstekniske etat

Östman, B., Mikkola, E. (2006)
European classes for the reaction to fire performance of wood products. Holz als Roh- und Werkstoff (2006) 64: p. 327-337.