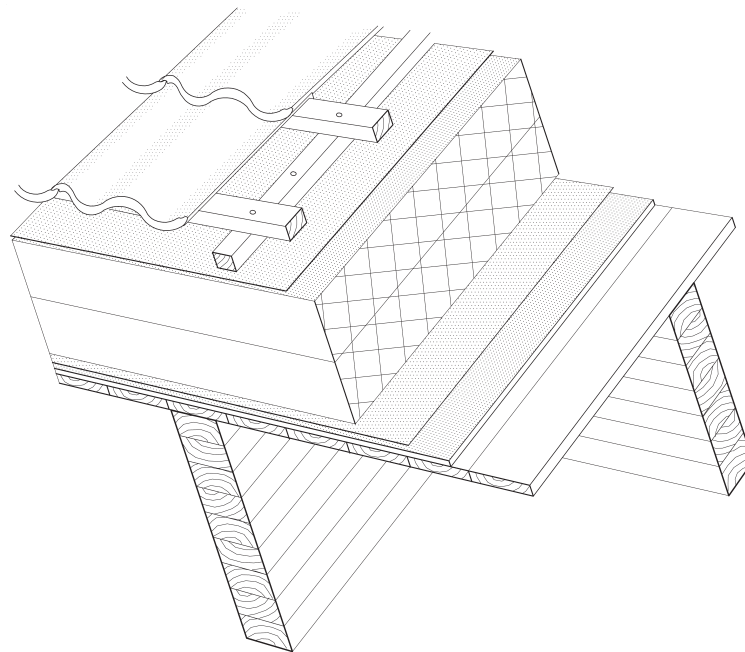


Kim Robert Lisø og Vidar Stenstad

Fuktsikre isolerte skrå tretak (FIST) – Forstudie



BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Kim Robert Lisø og Vidar Stenstad

Fuktsikre isolerte skrå trectak (FIST) – Forstudie

Prosjektrapport 266 – 2000

Prosjektrapport 266
Kim Robert Lisø og Vidar Stenstad
Fuktsikre isolerte skrå tretak (FIST) – Forstudie

Emneord:

Tak – Sperresjikt – Taktekking – Undertak – Varmeisolering – Bestandighet – Brann – Fukttansport – Luftgjennomgang – Montasjeegenskap – Stivhet – Styrke – Temperatur – Varmegjennomgang

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0672-9

300 eks. trykt av
S. E. Thoresen as
Innmat:100 g Fortuna
Omslag: 200 g Cyclus

© Norges byggforskningsinstitutt 2000

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 57 25

Forord

Undersøkelser gjennomført ved Norges byggforskningsinstitutt (NBI) har vist at kostnadene forbundet med utbedring av byggskader i Norge beløper seg til omkring 5% av de årlige investeringskostnadene ved nybygging [1]. I 1998 tilsvarte dette ca. 4 milliarder kroner. NBI har kartlagt byggskader i mer enn 40 år, både etter oppdrag fra byggebransjen og i omfattende feltundersøkelser. Omkring én tredjedel av disse skadene skyldes forhold relatert til oppbyggingen av takkonstruksjonen. Rundt 3/4-deler av totalt antall undersøkte byggskader er vann- og fuktskader. Det er derfor et klart behov for utvikling av mer fuktsikre konstruksjonsmetoder for isolerte tak. Som et ledd i NBIs utviklingsarbeid innen dette området, har instituttet inngått et samarbeid med Forsvarets bygningstjeneste (FBT) om gjennomføring av pilotprosjekt. Hensikten er å fullskalateste et konstruksjonsprinsipp for isolerte skrå tretak med trykkfast skumplastisolasjon på oversiden av bærekonstruksjonen, presentert i denne forstudien. Metoden er velkjent i land som Frankrike, Tyskland, England og Danmark – men er hittil kun én gang utprøvd i praksis med isolasjonstykkelser, materialbruk og forskriftskrav som er aktuelle i Norge [2].

Rapporten presenterer fortrinn og begrensninger ved det beskrevne konstruksjonsprinsippet, basert på tidligere undersøkelser ved NBI, erfaringer fra andre land og nye vurderinger og beregninger. Forstudien er finansiert av FBT, og skal danne grunnlag for planlegging og utførelse av pilotprosjektet. Kontaktperson ved FBT er sjefingeniør Carl Oscar Pedersen.

Oslo, januar 2000

Kim Robert Lisø

Sammendrag

Omfanget av byggskader på skrå tak er økende. Dette skyldes delvis at det bygges flere bygninger med skrå tak enn tidligere. Skadene henger sammen med kompliserte takformer med vinkler, høydesprang, arker, takvinduer, torvteknisk, mangelfull lufting og uheldige detaljløsninger. Taket blir ikke bare utsatt for påkjenninger fra utemiljøet og mekaniske påkjenninger. Det er viktig også å ha kontroll med virkningen av klimaet inne i bygningen og ikke minst lufttettheten i tak og yttervegger. Luftlekkasjer fra innsiden, med påfølgende kondensproblemer, er en av de hyppigste skadeårsakene i takkonstruksjoner, spesielt over rom med høy fuktbelastning. I bygninger med store takflater og stor innvendig takhøyde får en ofte fuktproblemer i takkonstruksjonen fordi en benytter samme konstruksjonsprinsipp som for småhustak. Problemene er i første rekke knyttet til luftingen av store takflater. Konsekvensene ved uheldige løsninger er ofte betydelig større for store tak enn for små tak.

På bakgrunn av de mange registrerte fuktproblemer og skadesaker med tradisjonelle skrå tretak som er varmeisoleret i takplanet, har en i tillegg erkjent at isolerte skrå tretak bør isoleres kontinuerlig fra raft til møne, og ikke delvis ha ventilerte loftsrom som i praksis ikke blir kalde nok til å hindre isdannelse på taket. Takflatene bør ideelt sett ha all isolasjon plassert på oversiden av takets bærekonstruksjon. Organiske materialer i isolasjonssjiktet som kan skades av fukt bør unngås. Taket bør til slutt kunne bygges med godt resultat også i relativt dårlig vær og med vanlige byggematerialer som er lett tilgjengelige på det norske markedet

Forannevnte danner bakgrunnen for NBIs ønske om å etablere en takkonstruksjonsløsning som gir bedre sikkerhet mot byggskader enn dagens tradisjonelle løsninger. Små tak er i mindre grad et problem med hensyn til fuktskader og fuktproblemer. Omfanget av byggskader i skrå takkonstruksjoner uttrykker i hovedsak behovet for utvikling av en mer fukt-sikker konstruksjonsmetode for såkalte *store isolerte og luftede skrå tretak*. Men, prinsippet kan også med fordel anvendes for småhusboliger. Løsningen vil også være meget velegnet ved ombygging og rehabilitering av eldre takkonstruksjoner, spesielt i tilfeller hvor en ønsker å beholde hele eller deler av bærekonstruksjonen synlig på innsiden. Løsningen er i tillegg velegnet i tilfeller hvor en ønsker å gjenbruke takstein/ tekninger med lav tetthet – eksempelvis ufalsede gamle teglpanner.

Denne rapporten presenterer fortrinn og begrensninger knyttet til et konstruksjonsprinsipp med varmeisolasjon av trykkfast skumplast og dampspærre plassert på oversiden av takets bærekonstruksjon. Rapporten er basert på et litteraturstudium innenfor temaet bygningsfysikk og isolerte, luftede skrå tretak, resultater fra et tidligere utført pilotprosjekt, og fra storskala brannforsøk. Konstruksjonsprinsippet klare fukttekniske fordeler er belyst, sett i forhold til tradisjonelle luftede skrå tretak med utvendige nedløp. Konstruksjonsløsningen gir vesentlig større sikkerhet mot byggskader enn konvensjonelle takkonstruksjoner. Storskala brannforsøk viser at konstruksjonsløsningen, med brennbar isolasjon, også kan utføres brannteknisk akseptabel i henhold til kravene i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven. Løsningen er i tillegg konkurransedyktig med hensyn til kostnader.

Den beskrevne takkonstruksjonen er anvendelig under alle typer av tekninger. Prinsippet er imidlertid mest aktuelt for opplettede tekninger (betong- og tegltakstein, skifer eller metallplater). Først og fremst fordi det er her en har de største problemene med vannlekkasjer utenfra i isolerte skrå, luftede tak. Opplettede tekninger er også de mest vanlige i Norge i dag, både for store tak og småhustak

Sammenliknet med tradisjonell utførelse, der takisolasjonen plasseres mellom sperrer og åser, og monteres fra undersiden sammen med dampspærren – har konstruksjonsprinsippet en rekke fordeler. Takbelegget som først legges på bærende himling, danner en sikker, konti-

nuerlig og god dampspærre i det ferdige taket. Det er i praksis lett å få dette sjiktet helt tett, selv på tak med kompliserte takformer. Dermed er risikoen for kondensdannelse eliminert.

Ved bruk av trykkfast skumplastisolasjon, som opptar minimalt med fukt, vil isolasjons- og tekkearbeidet også kunne utføres i perioder med nedbør. Bruk av skumplastisolasjon medfører samtidig minimal risiko for fremtidige fuktskader, selv om det skulle oppstå lekkasjer fra utsiden og inn i isolasjonssjiktet.

Organiske materialer i isolasjonssjiktet som kan skades av fukt, unngås helt ved den beskrevne løsningen. Takbelegget under isolasjonen har drenering ved takfot, og eventuell fuktinntrengning i isolasjonen fra utsiden kan dermed dreneres ut uten skadevirkninger.

Ved opplektede tekninger (betong- og tegltakstein, skifer eller metallplater) vil det være nødvendig med et eget avrenningssjikt over isolasjonen. Dette avrenningssjiktet skal fange opp og drenere ut nedbør som blåser inn under tekningen og gjennom omleggene. Sjiktet må derfor være vanntett. Det bør imidlertid ikke være nødvendig å stille krav til dampåpenhet eller damptetthet for avrenningssjiktet. Konstruksjonsprinsippet innebærer altså en forenkling i forhold til kravene som generelt stilles til undertaket for opplektede tekninger med kombinert vindspærre og undertak. For andre typer av tekninger anses det som unødvendig med et eget avrenningssjikt over isolasjonen, fordi sikkerheten mot lekkasjer enten ivaretas med et vanntett sjikt under tekningen eller fordi tekningen i seg selv er vann- og vindtett.

Utførte storskala brannforsøk viser imidlertid at det for alle typer av taktekninger vil være nødvendig med et materialsjikt som kan ivareta brannteknisk beskyttelse over skumplastisolasjonen. Et planlagt pilotprosjekt vil gi svar på om det kan finnes frem til et materiale som ivaretar funksjonen som avrenningssjikt og brannteknisk beskyttelse over isolasjonen (eksempelvis en vanntett glassfiberduk) i ett og samme produkt.

Takkonstruksjonen vil ha vesentlig bedre beskyttelse mot skader som følge av snøinndrev. Dermed bør løsningen også kunne anvendes på værharde steder hvor en normalt ville valgt en kompakt takkonstruksjon med innvendige nedløp. Dette skyldes hovedsakelig at takkonstruksjonen er isolert kontinuerlig fra raft til møne. Inndrev av snø og regn, med påfølgende fuktinntrengning i isolasjonssjiktet, vil bli drenert ut på dampspærresjiktet under isolasjonen. Isolasjonen i seg selv vil ikke bli skadet, eller få nedsatt varmeisoleringssevne.

Hovedtyngden av arbeidet med taket utføres fra oversiden, noe som gjør monteringen både rasjonell og sikker. Ikke minst gjelder dette bygninger med stor takhøyde, der all montasje fra undersiden krever stillas.

Studien har også avdekket en rekke tekniske detaljløsninger som ikke er tilstrekkelig avklart med hensyn til utforming og utførelse. Disse detaljene vil bli forsøkt løst ved planlegging og gjennomføring av fullskala prøveprosjekt. Gjennomføringen av et slikt pilotprosjekt anses som helt nødvendig for å erverve tilstrekkelig kunnskap om det beskrevne konstruksjonsprinsippet som underlag for publisering av anvisninger i Byggforskseriens Byggdetaljer og Byggforvaltning. Det er også ønskelig med ytterligere brannteknisk dokumentasjon ved bruk av utenpåliggende skumplastisolasjon i luftede tretakkonstruksjoner. Før gjennomføring av pilotprosjekt vil det i tillegg være nødvendig med prøving av ulike innfestingsmetoder og festemidler. I prøveobjektets planleggings- og prosjekteringsfase vil NBI, i nært samarbeid med FBT og rådgiverne, styre arbeidet med utarbeidelse av detaljløsninger for takkonstruksjonen og overganger mot ytterveggskonstruksjonene. Detaljer og materialvalg må være avklart i løpet av detaljprosjekteringsfasen og dermed innarbeidet i anbudsdocumentasjonen.

Innholdsfortegnelse

FORORD.....	3
SAMMENDRAG.....	4
INNHOLDSFORTEGNELSE.....	6
1 INNLEDNING	7
1.1 FORMÅL	7
1.2 BAKGRUNN	7
1.3 TRADISJONELLE SKRÅ TRETAK.....	8
2 OVERORDNEDE BYGNINGSTEKNISKE KRAV TIL TAKKONSTRUKSJONER	10
3 TYPER AV TAKKONSTRUKSJONER.....	11
3.1 GENERELT	11
3.2 VARME OG KALDE TAK.....	12
3.3 FLATE OG SKRÅ TAK.....	12
3.4 BUETAK	14
3.5 TAK AV PREFABRIKKERTE ISOLERTE TAKELEMENTER	14
4 ET FUKTSIKKERT KONSTRUKSJONSPRINSIPP FOR SKRÅ TAK	16
4.1 INNLEDNING	16
4.2 BRUKSOMRÅDER	17
4.3 BÆREKONSTRUKSJON, FORANKRINGS- OG INNFESTINGSMETODER.....	17
4.4 BÆRENDE HIMLING	18
4.5 DAMSPERRE	18
4.6 VARMEISOLASJON	19
4.7 AVRENNINGSSJIKT	21
4.8 LUFTING.....	23
4.9 TAKTRO/ UNDERTAK	25
4.10 TAKTEKNING.....	25
4.11 ERFARINGER FRA ANDRE LAND	26
4.12 DETALJLØSNINGER.....	28
4.13 UTVIKLING AV PREFABRIKKERTE LØSNINGER	28
5 BRANNTEKNIKE FORHOLD	29
5.1 GENERELT OM MATERIALBRUK I BYGNINGER.....	29
5.2 TEKNISK FORSKRIFT (TEK) 1997 MED VEILEDNING	29
5.3 DOKUMENTASJON VED STORSKALA BRANNFORSØK	32
6 KOSTNADSVURDERINGER	40
7 INNLEDENDE PLANLEGGING AV PILOTPROSJEKT.....	42
7.1 PRØVEOBJEKT	42
7.2 KVANTIFISERBARE PARAMETRE	42
7.3 PLANLEGGING, PROSJEKTERING OG UTFØRELSE	43
KONKLUSJON.....	44
REFERANSER.....	45

1 Innledning

1.1 Formål

Siktemålet til denne forstudien er å belyse eller løse problemstillinger knyttet til planlegging, prosjektering og utførelse av et konstruksjonsprinsipp for ventilerte skrå tak med trykkfast skumplastisolasjon og dampspærre på oversiden av bærekonstruksjonen for ventilerte skrå kalde tak. Rapporten skal danne grunnlag for planlegging og utførelse av pilotprosjekt hvor konstruksjonsprinsippet fullskalatestes. Studien vil videre, sammen med resultater fra pilotprosjektet, benyttes som underlag for publisering av anvisninger i Byggforskseriens Byggedetaljer og Byggforvaltning.

1.2 Bakgrunn

Forståelsen av hvorfor fuktproblemer i takkonstruksjoner oppstår, og hvordan de kan reduseres eller elimineres, er av stor betydning ved planlegging av takenes utforming og oppbygging, spesielt relatert til geografisk beliggenhet. Klimapåkjenninger i form av nedbør og vindbelastning kan medføre omfattende skader på bygninger og konstruksjoner. Kunnskap om naturgitte betingelser for planlegging og utførelse av bygningskonstruksjoner er avgjørende for konstruksjonenes funksjonsdyktighet og levetid.

Omfanget av byggskader¹ på skrå tak er økende. Dette skyldes delvis at det bygges flere bygninger med skrå tak enn tidligere. Skadene henger sammen med kompliserte takformer med vinkler, høydesprang, arker, takvinduer, torvtekning, mangelfull lufting og uheldige detaljløsninger. Taket blir ikke bare utsatt for påkjenninger fra utemiljøet og mekaniske påkjenninger. Det er viktig også å ha kontroll med virkningen av klimaet inne i bygningen (temperatur-, fukt- og trykkforhold) og ikke minst lufttettheten i tak og yttervegger. Luftlekkasjer fra innsiden, med påfølgende kondensproblemer, er en av de hyppigste skadeårsakene i takkonstruksjoner - spesielt over rom med høy fuktbelastning. I bygninger med store takflater og stor innvendig takhøyde får en ofte fuktproblemer i takkonstruksjonen fordi en benytter samme konstruksjonsprinsipp som for småhustak, se figur 1.2.1. Problemene er spesielt knyttet til luftingen av store takflater. Konsekvensene ved uheldige løsninger er ofte betydelig større for store tak enn for små tak.

På bakgrunn av de mange registrerte fuktproblemer og skadesaker med tradisjonelle skrå tretak som er varmeisolert i takplanet, har en erkjent følgende:

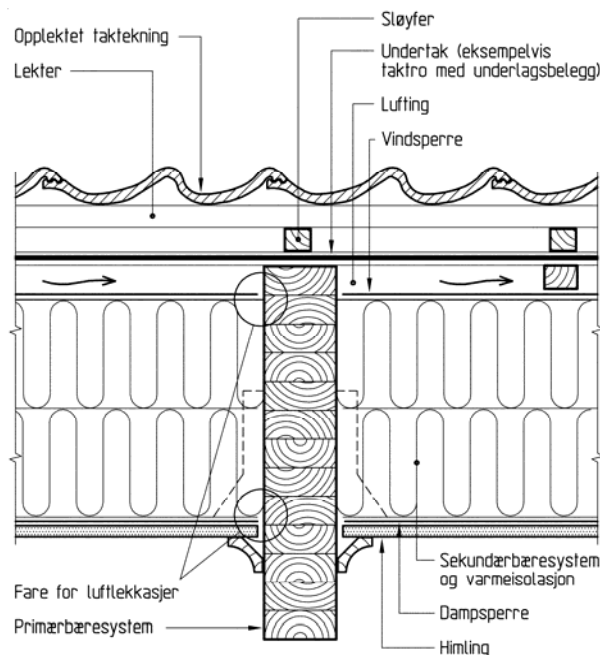
- isolerte skrå tretak bør isoleres kontinuerlig fra raft til møne, og ikke delvis ha ventilerte loftsrom som i praksis ikke blir kalde nok til å hindre isdannelser på taket²
- takflatene bør ideelt sett ha all isolasjon plassert på oversiden av takets bærekonstruksjon. Organiske materialer i isolasjonssjiktet som kan skades av fukt bør unngås
- taket bør kunne bygges med godt resultat også i relativt dårlig vær og med vanlige byggematerialer som er lett tilgjengelige på det norske markedet

¹ Byggskader er skader som oppdages etter at byggeprosjektet er avsluttet og overtatt av eier. Byggskader forårsaker funksjonssvikt og dermed «ekstraordinære vedlikeholdskostnader», det vil si kostnader som ikke skulle ha forekommet, eller merkostnader ved at vedlikeholdet må gjøres oftere enn forutsatt - fordi det er gjort feil under utredning, prosjektering, produksjon eller materialtilvirkning [1]

² Ref Byggforskserien Byggedetaljer 525.107 *Skrå tretak med oppvarmet rom i deler av loftet*

- i bygninger med store takflater og stor innvendig takhøyde får en, som nevnt foran, ofte fuktproblemer og skader i takkonstruksjonen fordi en som regel anvender samme konstruksjonsprinsipp og –detaljer som for småhustak (se figur 1.2.1).

Forannevnte danner bakgrunnen for NBIs ønske om å etablere en konstruksjonsløsning som gir bedre sikkerhet mot byggskader enn dagens tradisjonelle løsninger for isolerte og luftede skrå tak. Konstruksjonsprinsippet er utførlig beskrevet i kapittel 4. Små tak er i mindre grad et problem med hensyn til fuktskader og fuktproblemer. Omfanget av byggskader i skrå takkonstruksjoner uttrykker i hovedsak behovet for utvikling av en mer fuktsikker konstruksjonsmetode for såkalte *store* isolerte og luftede skrå tretak (tak hvor avstanden fra raft til møne er 7 - 15 m). Figur 1.2.1 viser en vanlig oppbygging av store skrå tretak.



Figur 1.2.1

Eksempel på prinsipp for utførelse av isolert tretakkonstruksjon i hallbygg og lignende, med relativt store skrå tak. Manglende lufttetting på innsiden, og begrenset luffing under taktroen, kan lett medføre kondensdannelse på undersiden av undertaket

1.3 Tradisjonelle skrå tretak

1.3.1 Takformer

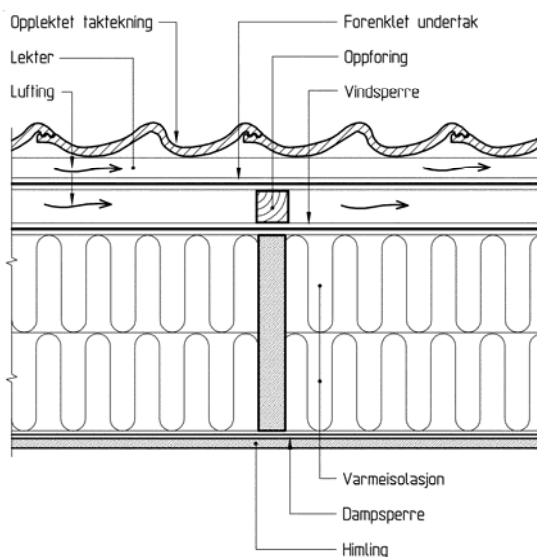
Av de ulike takformene er *saltaket* den vanligste. Takformen gir en enkel og rimelig bærekonstruksjon. Også fra gammelt av er dette den helt dominerende takformen i Norge. Saltak kan være utført både som åstak og sperretak. Takvinkelen varierer med type tekningsmaterialer, klima og lokal byggeskikk. Torvtak, som var vanlig på landet før siste del av forrige århundre, var avhengig av nokså bestemte takvinkler for å fungere tilfredsstillende. Takvinklene varierte fra 22° - 27° på Østlandet, til ca. 33° på Vestlandet. Vinkelen var knyttet til faste tradisjoner som igjen bygde på erfaringer med hensyn til tetthet og varighet. Tak med skifer- eller teglsteinstekning hadde vanligvis noe større takvinkel enn torvtakte tak.

Pulttak er en enkel og gammel takform som særlig ble benyttet på sidebygninger og liknende med smale planløsninger. Tekning er tilsvarende som for saltak, takvinkel som regel noe mindre, og oftest med sperrer opplagt på sideveggene som bæresystem. Pulttak bygges i dag ofte med to takflater mot hverandre i ulike høyder, som gir mulighet for plassering av overlysinduer oppunder høyeste takflate.

Flate tak er en relativt ny takform (mindre enn 85 år gammel). Flate tak er særlig knyttet til funksjonalismen som slo igjennom som moteretning i arkitekturen omkring 1930, etter at såkalt asfaltapp til tekning var blitt alminnelig handelsvare tidlig i mellomkrigstiden³.

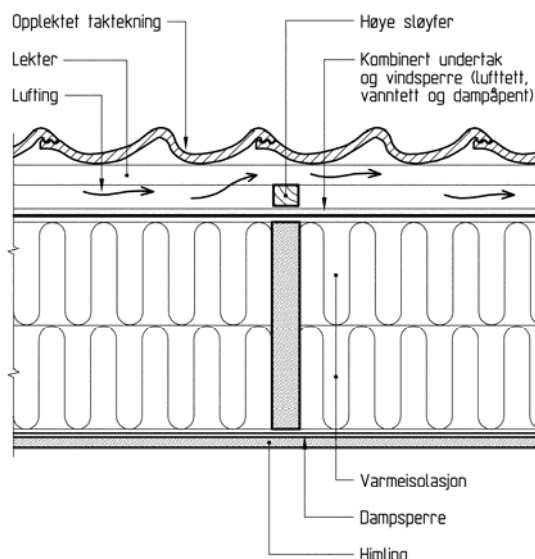
1.3.2 Oppbygging, utførelse og begrensninger

Lufting med et eget luftesjikt mellom varmeisolasjonen og undertaket er det konvensjonelle konstruksjonsprinsippet for isolerte skrå *kalde tak* (ref kapittel 3.2.2 og 3.3.2). Isolasjonen plasseres mellom sperrer eller åser og damsperrer monteres fra undersiden⁴. Figur 1.3.1 viser den tradisjonelle løsningen med separat vindsperre og undertak.



Figur 1.3.1

Prinsipiell oppbygging av isolerte, luftede skrå tretak med *separat* vindsperre og undertak og oppplettet tekning. Snitt gjennom takplanet på tvers av takets fallretning



Figur 1.3.2

Prinsipiell oppbygging av isolerte, luftede skrå tretak med *kombinert* vindsperre og undertak og oppplettet tekning. Snitt gjennom takplanet på tvers av takets fallretning

Denne typen isolerte skrå tretak egner seg for småhustak og for tak med *enkel* saltak- eller pulttakform der lengden fra raft til møne er maksimalt ca. 15 m. Er taket enda større eller har en komplisert utforming, blir det vanskelig å oppnå tilstrekkelig effektiv lufting. Sammenliknet med tak med kalde loft krever den tradisjonelle løsningen med isolasjon i takplanet større nøyaktighet i utførelsen av detaljer med hensyn til tetting for å unngå fuktproblemer.

Erfaringsmessig er imidlertid tak med isolasjon i hele takflaten sikrere mot fuktskader enn tak med delvis ventilerte og isolerte loftsrom. Slike tak er også betydelig sikrere mot brannspredning enn tak med luftede loftsrom, ref kapittel 5.3. I tillegg antas de å være noe sikrere mot eventuelle fukt- og isproblemer enn alternativet med kombinert vindsperre og undertak⁵, vist i figur 1.3.2. For løsningen med separat vindsperre og undertak er luftespalten bedre beskyttet mot snøinndrev, og konsekvensene av eventuelle utettheter i vindsperrersjiktet er mindre enn for kombinert vindsperre og undertak. Faren for eventuelle vannlekkasjer i undertakets skjøter og ved gjennomføringer er større ved små takvinkler, og det anbefales generelt en takvinkel lik minimum 18° for tak med kombinert vindsperre og undertak.

³ Ref Byggforskserien Byggforvaltning 725.012 *Takkonstruksjoner i eldre bolighus. Former, metoder og materialer*

⁴ Ref Byggforskserien Byggdetaljer 525.101 *Isolerte skrå tretak med lufting under undertak*

⁵ Denne løsningen er beskrevet i Byggforskserien Byggdetaljer 525.102 *Isolert tretak med kombinert undertak og vindsperre*

2 Overordnede bygningstekniske krav til takkonstruksjoner

De viktigste bygningstekniske funksjonskravene som stilles til takkonstruksjonen er:

- krav til tetthet mot nedbør i form av regn og smeltevann
- krav til bæreevne ved opptredende snølast, vindlast og nyttelaster
- krav til tetthet og isolasjonsevne mot varmetap fra oppvarmede lokaler.

I tillegg stilles det krav til sikkerhet ved brann, og delvis også krav til isolering mot utendørs støy.

Om lag en tredjedel av byggskadene som er etterforsket av NBI skriver seg fra utførelsen av takkonstruksjonen⁶. De fleste av disse relateres igjen til vannlekkasjer eller kondensdannelse. De mest alvorlige skadene skyldes utførelser som ikke gir mulighet for uttørking. Eksempler på dette er tretak mellom to dampette sjikt, og doble stålplatetak med mangelfull dampsperre og/eller manglende vindsperre og lufting. Med innvendig synlige taksperrer og andre konstruksjonsdeler kan det være vanskelig å oppnå et tett dampsperrsjikt, noe som gir fare for kondensering forårsaket av transport av fuktig luft opp i takkonstruksjonen.

Mange kalde loft får i praksis utilsiktet varmetilførsel, noe som fører til både kondens og snøsmelting og isdannelse på taket (se kapittel 3.3.2). Is gir økt påkjenning på taktekkingen, med påfølgende fare for vannlekkasjer. Utette beslag rundt gjennomføringer og piper gir også vannlekkasjer. For å oppnå høyest mulig sikkerhet mot vann- og fuktinntrengning må det derfor stilles meget strenge krav til tetthet mot nedbør, og til tetthet og isolering mot varmetap fra underliggende oppvarmede rom. For at takkonstruksjonen skal kunne få en akseptabel teknisk levetid må taket i tillegg være motstandsdyktig mot klimapåkjenninger som avhenger av:

- bygningstype
- utforming
- bruk (anvendelsesområde)
- geografisk beliggenhet
- orientering (relatert til eksempelvis fremherskende vindretning i spesielle tilfeller).

Fra *inneklimate* blir taket utsatt for fuktpåkjenning fra luftlekkasjer og diffusjon. Fra *uteklimate* utsettes materialene for solstråling, vind, ulike typer nedbør⁷, temperaturvariasjon og luftforurensning. Til slutt må naturligvis taket også tilfredsstillende gjeldende forskriftskrav til brannklassifisering, ref kapittel 5.

I Teknisk forskrift⁸ (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) heter det om fuktsikring av tak (§8-37 *Fukt*): «Tak skal ha tilstrekkelig fall slik at regn og smeltevann renner av. Dersom kondens kan oppstå på undersiden av taktekking eller taktekking ikke er tilstrekkelig tett til å forhindre inntrenging av vann, må underliggende konstruksjon beskyttes ved hjelp av et vannrett sjikt». Krav til takets varmeisolerende evne er også gitt i TEK til plan- og bygningsloven. Det stilles her krav til største, gjennomsnittlige varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) for takkonstruksjonen ved ulike romtemperaturer. Det stilles også krav til tetthet (TEK, §8-22).

⁶ Ref Byggforskeren Byggforvaltning 700.110 *Byggskader. Oversikt*

⁷ Alle former for vann som utfelles fra atmosfæren i form av enten regn, sludd, hagl, dogg, rim eller snø betegner en som nedbør

⁸ Forskriften er gitt til gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan- og bygningsloven av 14. juni 1985 nr. 77

3 Typer av takkonstruksjoner

3.1 Generelt

Valg av takform har konsekvenser for hvilke konstruksjonstyper og materialer det er hensiktsmessig å benytte. Takformen (saltak, sagtak, pulttak, valmtak, halvvalm, nedsenket valm, mansardtak, vinkeltak og flatt tak) har dermed også stor betydning for takets byggekostnader og nødvendige vedlikeholdskostnader. Formen på taket bestemmes hovedsakelig ut fra ønsker om utvendig arkitektonisk design og bygningens planløsning (takets er den mest dominerende delen av de fleste bygninger og blir ofte kalt bygningens femte fasade). Hvordan eventuelle loftsrom skal benyttes, og hvordan bærekonstruksjonen skal utføres, er imidlertid også avgjørende for valg av takform.

Takkonstruksjoner kan inndeles i hovedtypene varme og kalde tak, avhengig av hvordan taket dreneres og eventuelt luftes.

Takkonstruksjoner kan også inndeles etter takfall som:

- *flate* tak (defineres normalt som tak med fall $\leq 6^\circ$, omtrent lik 1:10)
- *skrå* tak (tak med fall $> 6^\circ$)
- *horisontale* tak⁹ (tak uten tilsiktet fall, altså takvinkel lik 0°)
- *buetak*.

Det er også utviklet prefabrikkerte isolerte takelementer for ulike typer av takkonstruksjoner. Slike er kort omtalt i kapittel 3.5.

Takflatenes størrelse er også av avgjørende betydning for takenes oppbygging og høyden på luftesjiktet i luftede kalde tak. Således er det også nødvendig å skille mellom *små* og *store* tak. Små tak er takflater med lengde fra raft til møne opp til ca. 7 m, målt langs takfallet. Dersom avstanden fra raft til møne overstiger 7 m, benevner en disse store tak. Beregninger utført ved NBI [3] fastsetter grensen mellom såkalte store og små tak lik 5 m lengde fra raft til møne. Dette er etter nærmere vurderinger endret til 7 m. Et slikt skille kan virke noe kunstig, men NBI har valgt å operere med denne avgrensningen for å øke byggebransjens bevissthet omkring de kritiske sammenhenger mellom luftespalte høyde, vind, snø og takvinkel for «store» takflater.

Isolerte skrå tretak med lufting under et undertak egner seg bare for småhustak og for tak med enkel saltak- eller pulttakform der lengden fra raft til møne er maksimalt ca. 15 m. Er taket enda større eller har en komplisert form med mange detaljer og tilslutninger, blir det vanskelig å oppnå tilstrekkelig effektiv lufting. Slike skråtak bør utføres som kompakte varme tak med innvendige nedløp. Denne vurderingen er basert på erfaringer og teoretiske beregninger av temperaturforhold i ventilerte tak med snø [3, 4]. Beregningene viser at for bygninger med taklengder større enn 15 m vil ventileringen i luftesjiktet ikke være tilstrekkelig til å hindre snøsmelting¹⁰.

Typer av bærekonstruksjoner for tak omtales ikke spesielt i denne rapporten.

⁹ I henhold til krav i Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven skal alle tak ha fall, ref kapittel 2 *Overordnede bygningstekniske krav til takkonstruksjoner*. Horisontale tak (takvinkel lik 0°) vil dermed ikke kunne godkjennes etter ny TEK 1997

¹⁰ Beregningene er basert på isolasjonstykkelse lik 200 mm, i henhold til Byggeforskriften av 1987. Økt isolasjonstykkelse (grunnet strengere krav til største gjennomsnittlige U-verdi, ref Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven, 1997), vil minske risikoen for snøsmelting noe.

3.2 Varme og kalde tak

3.2.1 Varme tak

Varme tak forutsetter innvendige nedløp for regn og smeltevann, og har vanligvis ikke et tilsiktet luftesjikt mellom varmeisolasjon/ vindsperre og undertak/ taktekning. Hensikten med innvendige varme nedløp i selve takflaten (i renner) er å sikre bortledning av smeltevannet før det fryser til is ved takfoten.

Tak uten lufting under tekningen kalles også *kompakte*, eller *massive*, tak. Slike tak kan være flate eller skrå, men må tekkes med en tekning som kan motstå periodevis vanntrykk fra oppdemmet vann. Kompakte/ massive tak er pr definisjon alltid varme tak. Varme tak bør ha isolasjonssjiktet plassert på oversiden av bærekonstruksjonen. Isolasjonssjiktet må ikke inneholde trematerialer eller andre organiske materialer som kan skades av mulig kondens eller innelukket byggfukt (altså ingen organiske materialer mellom de to dampette sjiktene, dampspærre og tekning).

Kompakte tak, eller massive tak, er tak som består av ett eller flere materialsjikt der sjiktene ligger så tett sammen som praktisk mulig. Kompakte tak har vanligvis bærekonstruksjon nederst, med varmeisolasjon under (*rettvendte* tak), over (*omvendte* tak) eller på begge sider av tekningen (*duotak*).

Varme tak kan også benevnes *ikke-ventilerte tak*.

3.2.2 Kalde tak

Kalde tak er basert på utvendig nedløp for regn og smeltevann. Takflatene må ha lufting under tekningen, slik at snøen ikke smelter når utvendig lufttemperatur er under frysepunktet. Tak med utvendig nedløp bør være skrå, med en takvinkel¹¹ på minst 10° - 15°, avhengig av takflatenes størrelse og utforming av konstruksjonsdetaljer.

Tak med lufting under tekningen kan varmeisolerers i rommet mellom bærende bjelker, sperrer eller liknende. Det mest fuktsikre konstruksjonsprinsippet er imidlertid å legge isolasjonen helt på oversiden av bærekonstruksjonen, som beskrevet i kapittel 4.

Kalde tak kan også benevnes *ventilerte tak*.

3.3 Flate og skrå tak

3.3.1 Flate tak

Flate tak defineres normalt som tak med fall $\leq 6^\circ$. Erfaring viser at risikoen for at feil ved utførelsen av tekningen kan føre til lekkasjer, er vesentlig mindre desto større takfallet er. NBI anbefaler derfor at tak alltid utføres med følgende minimumsfall, uansett taktekning:

- fall på selve takflatene $\geq 1:40$ ($\cong 1,4^\circ$)
- fall i renner og vinkelrenner $\geq 1:60$ ($\cong 1,0^\circ$).

Takfall og risiko for lekkasjer vurderes for øvrig i forhold til bygningstype, materialbruk og konsekvenser av eventuelle skader. Flate tak *bør alltid utføres som kompakte varme tak*, ref kapittel 3.2.1. Dette gir best sikkerhet mot vann- og fuktinntrengning og brannspredning. Når dampspærren legges kontinuerlig på oversiden av bærekonstruksjonen, vil kondensrisikoen tilnærmedesvis være eliminert.

¹¹ Ref Byggforskserien Byggetaljer 525.002 *Takkonstruksjoner. Valg av konstruksjonstyper og materialer*

På flate tak vil tekningen som regel bli utsatt for stående vanntrykk og isdannelser i kortere eller lengre perioder, ikke minst i renner og i nærheten av nedløp. Takene må derfor tekkes med en solid takmembran som tåler vanntrykk og ispåkjenning/ isskuring. Aktuelle tekke-materialer er da bare takbelegg basert på asfalt-, plast- eller gummimembraner som har limte eller sveisede skjøter.

Varmeisolasjonen på flate tak må ha tilstrekkelig stivhet og trykkfasthet for at tekningen skal kunne legges direkte på denne. Både skumplast- og mineralullprodukter kan anvendes. Skumplastisolasjon gir det stiveste underlaget, men krever brannbeskyttende tiltak i form av seksjonering, spesiell brannklassifisert tekning og/ eller tilleggsisolering med ubrennbart materiale. Fall mot sluk utføres enkelt med standard skråråskårne isolasjonsplater.

En bør alltid legge dampsperre mellom isolasjonen og bærekonstruksjonen. På massive betongdekker og på bygningsplater med tette skjøter kan en vanligvis benytte polyetylenfolie med omlegg som legges løst i skjøtene. Over bærekonstruksjoner som ikke er lufttette, eksempelvis stålplater og betong- og lettbetongelementer med åpne fuger, bør dampsperran ha limte eller sveisede skjøter. Over lokaler med spesielt høy fuktbelastning må dampsperran ha limte eller sveisede skjøter uansett bærekonstruksjon. I slike tilfeller er takfolier eller asfalt takbelegg sikrere alternativer enn polyetylenfolie som dampsperre.

Korrekt oppbygde kompakte, flate tak med innvendig nedløp er i dag stort sett problemfrie. Denne type takkonstruksjon var tidligere blant de mest skadeutsatte. Typiske skadeårsaker har vært feil utforming av taket, feil valgt konstruksjonstype, uheldig materialbruk og svakheter ved prosjektering og utførelse av detaljer ved tilslutninger og gjennomføringer. Problemerkene er nå nærmest eliminert som en konsekvens av at det de siste 20 årene er utviklet bedre materialer og løsninger for slike konstruksjoner. Disse er utførlig beskrevet i Byggforskseriens Byggdetaljer Gruppe 525 og 544.

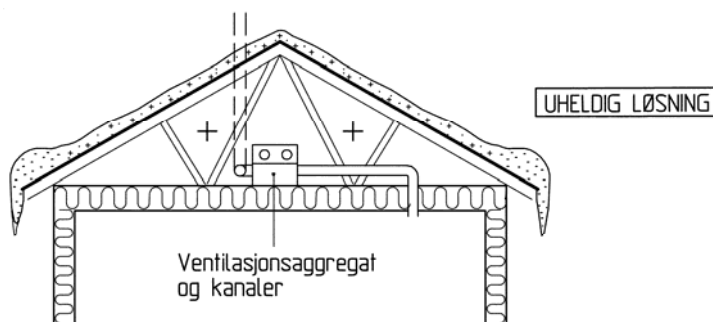
Flate tak er nokså omfattende omtalt her. Dette er fordi noen av de samme konstruksjonsprinsipper som legges til grunn for denne type tak også vil gjelde for den nye konstruksjonsløsningen for skrå tak som presenteres i denne rapporten.

3.3.2 Skrå tak

Skrå tak defineres normalt som tak med fall $> 6^\circ$. Skrå tak omfatter både pulttak, ulike saltakformer og sagtak. Takene kan utføres både med innvendige og utvendige nedløp. Skrå tak med innvendig nedløp utføres prinsipielt på samme måte som flate tak, med massiv konstruksjon (uten luftesjikt) og isolasjon i takflaten, ref kapittel 3.2.1.

Skrå tak med utvendig nedløp kan utføres med eller uten luftede loftsrom. Tak med kaldt, luftet loftsrom er en tradisjonell småhustakkonstruksjon en har god erfaring med. En svakhet ved denne typen takkonstruksjon er mangelfull brannsikkerhet og faren for snøinndrev i luftinntak og -uttak. Slike takkonstruksjoner krever at loftsrommet ikke tilføres varm luft (ref figur 3.3.1) som kan føre til kondens på undersiden av takflatene, eller som kan medføre isdannelser som følge av snøsmelting.

For luftede tak med isolasjon i takflaten er løsningen med kombinert undertak og vindsperre mest rasjonell å bygge når taket skal ha taksteinstekning eller annen opplektet tekning. Konstruksjonen krever imidlertid stor nøyaktighet i detaljutførelsen på byggeplass for å sikre både vann- og lufttetthet i samme sjikt. Løsningen med egen luftespalte mellom undertak og vindsperrersjikt regnes for å være noe mer fuktsikker. Isolerte skrå tak med utvendig nedløp bør ha sperrer eller takbind (takstoler og sperrebind) som løper parallelt med takfallet, og ikke takåser som vanskeliggjør montering av et lufttett vindsperrersjikt over isolasjonen.



Figur 3.3.1

Eksempel på uheldig bruk av kaldt loft. Loftsrom hvor det kan bli installert tekniske anlegg, eller som skal brukes som lagerrom, bør isoleres i takflaten. Dermed unngår en problemer knyttet til mange gjennomføringer i isolasjonssjiktet og varmetilførsel til takflaten som kan medføre snøsmelting og isdannelse (Byggforskserien Byggdetaljer 525.002)

Når bærekonstruksjonen inneholder andre materialer enn tre, bør taket utføres med all varmeisolasjon plassert på oversiden av bærekonstruksjonen. Også for tretak er isolasjon på oversiden av bærekonstruksjonen, som tidligere nevnt, det sikreste konstruksjonsprinsippet med hensyn til fuktproblemer. Tak som isoleres i takflaten bør fortrinnsvis isoleres kontinuerlig fra raft til møne. Det er en fordel å unngå at deler av taket har uisolerte hulrom, slik tilfellet er ved tradisjonelle loftsromstakstoler av tre til småhus².

3.4 Buetak

Buetak bør utføres som kompakte varme tak (ingen lufting under tekningen), med isolasjonssjiktet plassert over bærekonstruksjonen. Buetak og skråtak med stor takvinkel kan bygges uten lufting og nedløpssystem der forholdene er lagt til rette for at snø kan rase fra taket uten skadevirkninger. Normalt må en imidlertid ha innvendige nedløp enten buetaket avsluttes ved yttervegg eller mot et tiliggende tak. Under visse forhold kan buetak også utføres med utvendige nedløp uten renner. Den viktigste forutsetningen er at taket vender mot utendørsarealer der snøras fra taket kan aksepteres¹².

Asfalt takbelegg eller takfolie er de best egnede tekningene for buetak. Båndtekning med sinkbelagte plater kan også være aktuelt, men ved legging på kryssfinerplater eller andre trebaserte plater må tekningen krysslufte. Store tak med luftet tekning må i tillegg ha langsående luftelyre på mønet. På toppen av buetak er takfallet lik null grader. På denne delen bør en alltid tekke med asfalt takbelegg eller takfolie med sveisede skjøter.

3.5 Tak av prefabrikkerte isolerte takelementer

3.5.1 Generelt

Det bør bare benyttes fabrikkfremstilte takelementsystemer som har NBI Teknisk Godkjenning eller tilsvarende dokumentasjon av egenskaper. En er da sikret at produktet innehar de nødvendige egenskaper som kreves i Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven. Systemer med NBI Teknisk Godkjenning er også underlagt en overvåkende produkt- og produksjonskontroll.

Prefabrikkerte isolerte takelementer med varmeisolasjon plassert mellom de bærende komponentene, og med vanlig dampsperre av polyetylenfolie på undersiden, må ikke anvendes

¹² Ifølge veiledning til Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven, §7-45, skal snøfangere monteres der snø- og isras fra tak kan skade personer, gjenstander, underliggende bygningsdeler eller installasjoner. Dimensjonering og montering av snøfangere er beskrevet i Byggforskserien Byggdetaljer 525.931 *Snøfangere*

over rom med høy fuktbelastning - som for eksempel svømmehaller, badeanlegg, trykkerier og liknende. Årsaken til dette er at det er vanskelig å få dampsperrsjiktet helt tett i alle elementskjøter og tilslutninger. Transport av fuktig luft opp i takkonstruksjonen kan medføre kondensproblemer. For elementer med innebygd treverk kan konsekvensene bli dramatiske. Riktig og forsvarlig utførelse forutsetter også at det ikke kommer fukt inn i elementene under lagring, transport og montering, da denne fukten lett blir innesperret. Fukten har da små muligheter for å unnsnippe, noe som vil medføre råteskader.

3.5.2 Tre- og stålbaserte elementer

Takelementer til småhus leveres ferdig isolerte. Elementene bygges opp på samme måte som vanlige sperretakkonstruksjoner basert på innvendig understøttelse. Elementene har enten ferdig himling, eller himlingen festes på byggeplass etter at elementene er montert. Utvendig er elementene vanligvis tekket med et asfalt underlagsbelegg eller et undertak, og skal kompletteres med ferdig taktekning på byggeplass umiddelbart etter montering.

3.5.3 Sandwichelementer

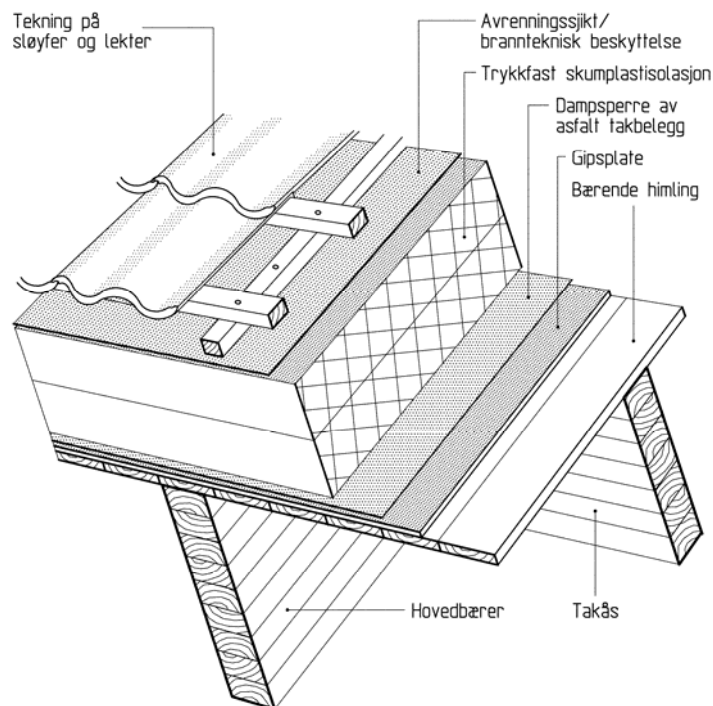
Sandwichelementer basert på gipsplater og skumplast er beregnet for tekning av takfolie eller asfalt takbelegg, og kan i prinsippet anvendes på samme måte som andre massive takkonstruksjoner.

Sandwichelementer med kjerne av skumplast- eller mineralullisolasjon og ytre sjikt av stålplater er i utgangspunktet ikke egnet som takkonstruksjon de fleste steder i Norge. Elementene er massive og uten lufting, slik at det lett vil kunne oppstå ising i utvendige renner og nedløp. Samtidig er ikke elementskjøtene tette mot stående vanntrykk som kan oppstå ved isdannelser på takflaten.

4 Et fuktsikkert konstruksjonsprinsipp for skrå tak

4.1 Innledning

Det konstruksjonsprinsipp som beskrives i dette kapitlet har varmeisolasjonen (ekstrudert eller ekspandert polystyren) i sin helhet plassert på oversiden av takets bærekonstruksjon – over bærende himling, se figur 4.2.1. Prinsippet kjennetegnes ved at dampsperrsjiktet kan monteres kontinuerlig fra oversiden, og at isolasjonssjiktet er uten fuktømfintlige materialer som kan skades av kondensvann eller innelukket byggfukt. Eventuell inntrengning av fukt i isolasjonen fra utsiden, kan dreneres ut uten skadevirkninger. Isolasjonen er trykkfast, slik at den kan fungere som underlag også for en opplettet takteking. Det er en forutsetning at taket skal ha utvendige nedløp, og at luftingen av takflaten finner sted i sjiktet rett under tekningen.



Figur 4.2.1

Prinsipiell oppbygging av skrått tretak med utenpåliggende skumplastisolasjon

Sammenliknet med tradisjonell utførelse, der takisolasjonen plasseres mellom sperrer og åser, og sammen med dampsperran monteres fra undersiden – har konstruksjonsprinsippet flere fordeler, som ønskes nærmere studert:

- takbelegget som først legges på bærende himling, danner en sikker, kontinuerlig og god dampsperre i det ferdige taket. Det er i praksis lett å få dette sjiktet helt tett, selv på tak med kompliserte takformer. Dermed er risikoen for kondensdannelse eliminert
- ved bruk av isolasjon som opptar minimalt med fukt, eksempelvis ekstrudert polystyren (XPS), vil isolasjons- og tekkearbeidet også kunne utføres i perioder med nedbør. Dette medfører samtidig minimal risiko for fremtidige fuktskader, selv om det skulle oppstå lekkasjer fra utsiden og inn i isolasjonssjiktet. Takbelegget under isolasjonen har drenering ved takfot, og eventuell fuktinntrengning i isolasjonen fra utsiden kan dermed dreneres ut uten skadevirkninger

- hovedtyngden av arbeidet med taket utføres fra oversiden, noe som gjør montasje-arbeidet både rasjonelt og sikkert. Ikke minst gjelder dette bygninger med stor tak-høyde, der all montasje fra undersiden krever stillas.

Kapittel 4.3 - 4.10 beskriver i detalj hvert enkelt materialsjikt i oppbyggingen av takkonstruksjonen, regnet innenfra og utover.

4.2 Bruksområder

Takkonstruksjonen er først og fremst tiltenkt *store* isolerte og luftede skrå tak (se definisjon i kapittel 3.1), men prinsippet kan også med fordel anvendes for småhus. Prinsipiell oppbygging av konstruksjonen er vist i figur 4.2.1.

Laveste anbefalte takvinkel er avhengig av lokalklimaforhold, tekningen og undertakets tetthet, detaljløsninger og lufting, men må normalt være over ca. 15° ved tekking med takstein¹³. For tekninger som krever undertak vil laveste takvinkel hovedsakelig avhenge av undertakmaterialets motstandsdyktighet mot fuktpåkjønning. For produkter med NBI Teknisk Godkjenning er minste tillatte takvinkel angitt i godkjenningsdokumentet. Konstruksjonsprinsippet med utenpåliggende skumplastisolasjon har meget god sikkerhet mot fuktinntrengning utenfra, men NBI anbefaler likevel at 15° opprettholdes som laveste takvinkel ved tekking med takstein.

For takopplett i skråtak (med små takflater) bør takvinkelen ikke være mindre enn 10° for at en skal kunne anvende luftet taktekning med utvendig nedløp.

For spesielt store skrå tak (takflater med lengde fra raft til møne større enn ca. 15 m, målt langs skrå takflate) anbefaler NBI at disse alltid utføres som kompakte, varme tak med innvendige nedløp. Skrå tak som har store og/ eller mange sammenbygde takflater, er generelt vanskelige å lufte tilstrekkelig effektivt for å hindre snøsmelting og isdannelse, og bør derfor ha innvendige nedløp. Dette er imidlertid også avhengig av lokale klimaforhold.

I klimautsatte kalde strøk er snøinndrev ved raft og møne ofte en direkte årsak til fuktproblemer i luftede takkonstruksjoner. Spesielle tiltak med hensyn til tetting av raft og møne har da vært nødvendig. Takkonstruksjonen som beskrives i denne rapporten vil derimot ha vesentlig bedre beskyttelse mot skader som følge av snøinndrev (uavhengig av møne- og raftutforming), og dermed bør denne løsningen også kunne anvendes på værharde steder hvor en normalt ville valgt en kompakt takkonstruksjon med innvendige nedløp. Dette skyldes hovedsakelig at takkonstruksjonen er isolert med et fuktbestandig isolasjonsmateriale, kontinuerlig fra raft til møne. Inndrev av snø og regn, med påfølgende fuktinntrengning i isolasjonssjiktet, vil bli drenert ut på dampsperrsjiktet under isolasjonen. Isolasjonen i seg selv vil ikke bli skadet, eller få nedsatt varmeisoleringssevne.

4.3 Bærekonstruksjon, forankrings- og innfestingsmetoder

Konstruksjonsprinsippet kan benyttes på alle typer av bærekonstruksjoner, ikke bare trekonstruksjoner - men også stål- og betongkonstruksjoner. Opplekting for ulike typer taktekninger festes ved bruk av selvborende skruer gjennom isolasjonssjiktet og ned i sperrer eller takåser. Sløyfer kan også festes til bærende himling dersom denne har den nødvendige tykkelse. Sløyfenes dimensjon bestemmes både av behovet for lufting under tekningen og av nødvendig anleggsflate for overføring av egenlast og snølast gjennom isolasjonssjiktet.

¹³ Ref Byggforskeren Byggedetaljer 544.101 *Tekking med takstein. Materialer, legging og forankring. Del I og II*

Orienterende prøving av innfestingsmetoder for utenpåliggende trykkfast isolasjon er utført ved NBI i forbindelse med tidligere forsøksprosjekt [5]. Her ble kapasiteten til ulike typer av lange gjennomgående skruer til fester av isolasjon og sløyfer fastsatt ved belastning parallelt med takplanet. To typer av isolasjonsmaterialer og tykkelser inngikk i prøvingen. På bakgrunn av denne prøvingen er det anslått nødvendig forankringslengde og bruddkapasitet for skruer av ulik type, lengde og godstykkelse.

Før gjennomføring av fullskala prøveprosjekt vil det være behov for mer nøyaktig prøving av skruetyper og nødvendige innfestingsdybder.

4.4 Bærende himling

Himlingen utgjør den innvendige brannbeskyttelsen av varmeisolasjonen. Himlingen skal også fungere som arbeidsplattform for montering av isolasjonen. Videre har den en bærende funksjon som vindavstivning av takplanet. Til slutt danner den bærende himlingen også synlig innvendig overflate, og har dermed en arkitektonisk og visuell funksjon.

Bærende himling kan utføres av pløyde bord (rupanel), eller trebaserte bygningsplater (kryssfiner, OSB-plater, sponplater eller massive treplater). I tillegg må en på himlingen eventuelt legge ett lag 13 mm standard gipsplater for å sikre en gjennombrenningstid lik minst 30 minutter, hvilket er satt som vilkår for bruk av brennbar skumplastisolasjon i takkonstruksjonen. Dette gjelder bare der himlingen alene ikke gir tilstrekkelig brannbeskyttelse. For nærmere omtale av branntekniske forhold, ref kapittel 5.

4.5 Dampsperre

4.5.1 Funksjon

Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl), §8-22, stiller følgende krav til bygningers tetthet:

«Bygninger skal være så tette at effekten av varmeisoleringen ikke reduseres ved utilsiktet luftgjennomstrømning.

Fukt skal ikke kunne trenge inn og redusere bygningsdelenes varmeisolerende yteevne eller forringe bygningens levetid.

Bygninger skal være så tette at inn klimaet ikke påvirkes negativt og slik at det ikke oppstår sjenerende trekk».

Dampsperresjiktet skal i første rekke gjøre taket lufttett, og dermed hindre luftlekkasjer opp i taket som kan føre til kondens. I tillegg skal dampsperren hindre fukttransport i form av vanddampdiffusjon.

Fukttransport ved diffusjon innebærer at vannmolekyler i dampfasen beveger seg fra et sted med høyt vandamptrykk til et sted med lavere damptrykk.

I de fleste bygninger er det et overtrykk oppunder taket, forårsaket av temperaturforskjellen mellom ute- og inneluften, vind- eller ventilasjonsforholdene. Overtrykket fører til at varm og fuktig inneluft lekker opp gjennom eventuelle utettheter i takkonstruksjonen¹⁴. Når det er

¹⁴ Fukttransport ved luftstrømmer, eller konveksjon av fuktig luft, forutsetter lufttrykkforskjell mellom ute- og inn klimaet og utettheter i takkonstruksjonen. Risikoen for kondensdannelse er vanligvis størst ved luftstrømmer innenfra og utover, altså ved innvendig overtrykk. Årsaken er at inneluft vanligvis har mye høyere fuktinnhold enn uteluft. Når temperaturen faller utover i konstruksjonen, vil den fuktige luften kunne kondensere. Fukttransport i materialer er nærmere beskrevet i Byggforskserien Byggedetaljer 421.132 *Fuktmekanikk*

kaldt nok, vil luften avkjøles slik at den må avgi fukt i form av kondens eller rim. Faren for kondensdannelse tiltar med økende isolasjonstykkelse. Utettheter i dampsperran og vindsperran som fører til luftlekkasjer gjennom varmeisolasjonen, kan ikke kompenseres med god lufting på oversiden.

Dampsperran plasseres på den varme siden av takisolasjonen, og det er meget viktig at dampsperran monteres slik at den danner et kontinuerlig lufttett sjikt. Skjøter, gjennomføringer og tilslutninger mot andre konstruksjonsdeler er av avgjørende betydning for lufttettheten til dampsperrsjiktet. For det beskrevne konstruksjonsprinsippet vil det, i motsetning til for tradisjonelle skrå tak, være enkelt å få til et kontinuerlig og tett dampsperrsjikt – selv på tak med kompliserte takformer. Dermed vil risikoen for luftlekkasjer og kondensdannelse tilnærmevis være eliminert. Dampsperran perforeres av selvborende skruer, slik som vist på figur 4.7.1. Forsøk utført ved NBI viser imidlertid at dette ikke har nevneverdig praktisk betydning for luft- og vanntettheten ved bruk av asfalt underlagsbelegg som dampsperre [6, 7].

Løsninger for lufttette overganger mellom tak og vegger vil bli nærmere analysert ved gjennomføringen av planlagte pilotprosjekt.

4.5.2 Materialer

NPF Produktnorm 8000, «Plastfolier til dampsperre i bygg» fra Norsk Plastforening inneholder krav og prøvingsmetoder for dampsperrer av polyetylenfolie. Disse omfatter tykkelse, strekkfasthet, bruddforlengelse, rivestyrke, slagfasthet, aldringsbestandighet, samt krav til råvarekvalitet. Normen omhandler kun dampsperrer av polyetylenfolie, men NBI anbefaler at den også benyttes for andre typer av dampsperrmaterialer.

Vanndampmotstanden for dampsperrer bør ikke være lavere enn $50 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$. Både vanndampmotstanden på varm side av konstruksjonen og forholdet mellom dampmotstand på varm og kald side, må evalueres når en planlegger konstruksjoner som inneholder organiske materialer.

Dampsperran, eller takfuktsperren¹⁵, skal her også danne midlertidig tekning i byggeperioden. Dermed kan ikke vanlig polyetylenfolie anvendes, fordi denne lett vil kunne skades under monteringen av isolasjonssjikt og tekning. Dessuten er den for glatt til å gå på. Dampsperran bør ha høy mekanisk styrke og sveisede eller klebede skjøter. Et aktuelt materiale vil være asfalt takbelegg. Ved utvikling av prefabrikkerte løsninger for konstruksjonsprinsippet vil også takfolier kunne vurderes.

4.6 Varmeisolasjon

4.6.1 Forskriftskrav og U-verdier

Krav til en bygnings energi- og effektbehov kan ifølge Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) fastsettes på tre alternative måter, enten

- ved bruk av energirammer tilpasset forskjellige bygningskategorier
- ved å tilfredsstille krav til hver enkelt bygningsdels varmeisolerende yteevne (største gjennomsnittlige U-verdi for ytre bygningsdeler), eller
- ved bruk av varmetapsrammer basert på omfordeling mellom bygningsdelene.

Varmeisoleringssevnen¹⁶ til takkonstruksjonen kan beregnes etter NS-EN ISO 6946 *Bygningskomponenter og –elementer. Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient*.

¹⁵ Dampsperrer med høy mekanisk styrke og sveisede skjøter kalles ofte takfuktsperrer

¹⁶ Generelle forutsetninger for beregning av U-verdier for bygningskomponenter, samt verdier for varmekonduktivitet (λ) og varmemotstand (R) som danner grunnlag for beregningene, er gitt i Byggforskserien Byggedetaljer 471.010 *U-verdier for bygningskonstruksjoner. Beregningsgrunnlag*

Beregningsmetode. U-verdien for tak over vanlige oppholdsrom ($t_i \geq 20^\circ\text{C}$) skal ikke overstige $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. TEK tillater høyere U-verdi dersom andre bygningsdeler isoleres tilsvarende bedre. I tilfeller hvor bygningen er permanent delt i flere temperatursoner, skal de relevante bygningsdeler for de enkelte soner varmeisolerers i forhold til vedkommende soners romtemperatur.

Tilleggsvarmetap fra kuldebroer, som følge av dårlig eller ingen isolasjon lokalt, skal tas med i beregningen av bygningsdelenes varmegjennomgangskoeffisienter og tas i betraktning ved planlegging av inneklimate.

Byggforskseriens Byggdetaljer 471.013 *U-verdier*. Tak inneholder tabeller med U-verdier for vanlige takløsninger, inklusive konstruksjonsprinsippet som presenteres i denne rapporten. Metoder for å bestemme kuldebroverdier er gitt i Byggforskseriens Byggdetaljer 471.016.

Skrå luftede isolerte tak med bærekonstruksjon av tre vil ha U-verdi omtrent som for tilsvarende kompakt takkonstruksjon, i praksis innebærer dette isolasjonstykkelse i størrelsesorden 200 – 250 mm for tak over vanlige oppholdsrom (150 – 180 mm for tak over rom med innetemperatur mellom 15°C og 20°C).

4.6.2 Isolasjonsmaterialer og egenskaper

Konstruksjonsprinsippet stiller følgende krav til valg av isolasjonsmateriale:

- isolasjonen skal fungere som underlag for en opplektet taktekning, og må dermed ha høy trykkfasthet og gode langtidsegenskaper
- isolasjonen bør tåle noe nedbør og fuktpåvirkning, spesielt i byggefasen, uten å få redusert sin isolasjonsevne, bæreevne eller bestandighet
- isolasjonen bør være av såkalt «tungt antenneelig» kvalitet.

Kun skumplastisolasjon av typen ekstrudert polystyren (XPS) oppfyller alle disse kravene fullt ut. Det er først og fremst trykkfastheten og fuktegenskapene som gjør dette materialet velegnet. Ekspandert polystyren (EPS) kan imidlertid også benyttes, selv om fuktopptaket er større enn for XPS.

Langtids trykkfasthet for EPS ved 2% deformasjon er $30 - 50 \text{ kN}/\text{m}^2$. Vanlig polystyren mister sin fasthet ved $80 - 90^\circ\text{C}$ og smelter ved litt over 100°C . EPS er lett antenneelig og vil ved ytterligere oppvarming brenne med kraftig røyk- og varmeutvikling. Det produseres imidlertid også en såkalt tungt antenneelig eller selvslukkende type (tilsatt brannhemmende middel). Varmeisolasjonsevnen er omtrent som for mineralull. Varmeisolasjonsevnen reduseres generelt ved fuktopptak. EPS tar imidlertid opp relativt lite fuktighet i kontakt med vann (12 – 30 volumprosent fuktopptak ved diffusjon). Men, ved en temperaturforskjell over materialet kan det oppta store mengder vann og få opp mot 80 volumprosent fuktinnhold, fordi EPS har en delvis åpen cellestruktur. Temperaturutvidelseskoeffisienten for EPS ligger i området $40 - 70 \times 10^{-6} \text{ mm}/(\text{mm}^\circ\text{C})$.

Langtids trykkfasthet for XPS ved 2% deformasjon er $60 - 250 \text{ kN}/\text{m}^2$. XPS skiller seg fra ekspandert polystyren ved at den har en lukket cellestruktur. Materialet har bedre varmeisolerende evne enn EPS og vanlig mineralull. De lukkede porene gir også materialet meget gode fukttekniske egenskaper. Platene opptar ikke mer enn ca. 1 – 3 volumprosent fukt, selv ved stor fuktpåvirkning. Temperaturutvidelseskoeffisienten for XPS ligger i området $60 - 80 \times 10^{-6} \text{ mm}/(\text{mm}^\circ\text{C})$. Også XPS kan leveres som såkalt tungt antenneelig kvalitet.

Nærmere angivelse av ulike egenskaper for ekspandert- og ekstrudert polystyren er gitt i Byggforskeren Byggdetaljer 573.344 *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper*. Ved gjennomførte storskala brannforsøk, ref kapittel 5.3, ble det benyttet EPS av typen «tungt antennelig» (også kalt «selvslukkende») kvalitet. Isolasjonen har klassifisering B1 etter DIN 4102. Begrepet «tungt antennelig materiale» benyttes ikke lenger i det norske regelverket, men er definert i byggeforskriftene av 1969 som et «materiale som ved prøving etter fastsatt metode ikke brenner videre i luft etter at opphetningen er avsluttet». Brannprøvingen som er utført tyder på at isolasjonen vil brenne videre så lenge det er treverk som brenner inntil isolasjonen, selv etter at brannkilden ved takfot er borte. Det antas imidlertid at forbrenningen i isolasjonen vil være relativt moderat så lenge det bare brenner i sløyfer og lekter. Dette kan likevel bare dokumenteres ved å gjennomføre brannprøving på en større takflate.

NBI mener det er fornuftig å velge et varmeisolasjonsmateriale som er klassifisert som såkalt «tungt antennelig» eller tilsvarende ved bruk av skumplastisolasjon i tak. Dette vil antakelig bidra til å begrense brannspredningen i takflaten i et reelt tilfelle.

XPS er utprøvd som isolasjonsmateriale i skrått tretak i et forsøksprosjekt utført i regi av NBI [2]. Det ble her ikke registrert tekniske problemer med hensyn til dimensjonsstabilitet og mekaniske egenskaper¹⁷ for materialet.

4.7 Avrenningssjikt

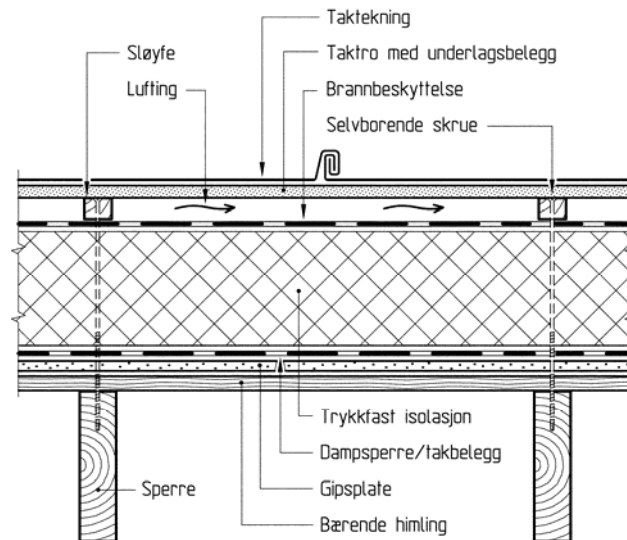
4.7.1 Drenering av nedbør

Ved opplektede tekninger (betong- og tegltakstein, skifer eller metallplater) vil det være nødvendig med et eget *avrenningssjikt* over isolasjonen. Dette avrenningssjiktet skal fange opp og drenere ut nedbør som blåser inn under tekningen og gjennom omleggene. Sjiktet må derfor være vanntett. Men, det er trolig ikke nødvendig å stille krav til dampåpenhet eller damp-tetthet for avrenningssjiktet. Konstruksjonsprinsippet innebærer altså en forenkling i forhold til kravene som generelt stilles til undertaket for opplektede tekninger med kombinert vind-sperre og undertak (ref figur 1.3.2).

Ved bruk av ekspandert polystyren som varmeisolasjon, som er mindre fuktbestandig enn ekstrudert polystyren, vil avrenningssjiktet også fungere som en midlertidig tetting mot nedbør i byggeperioden – før montering av tekning.

For tradisjonelle skrå luftede tretak er det nødvendig med et vindsperrsjikt for å hindre uteluft i å blåse inn i varmeisolasjonen. Vindsperran er også en ekstra sikring mot at det oppstår gjennomgående luftlekkasjer fra innsiden som kan føre til kondensdannelse. For konstruksjonsprinsippet som beskrives her er det strengt tatt ikke nødvendig med tradisjonell vindtetting. Skumplastisolasjonens varmeisolerings-effekt svekkes ikke i særlig grad av eventuell innblåsing av uteluft, men en bør likevel beskytte konstruksjonen mot innblåsing av uteluft i skjøtene mellom isolasjonsplatene. Denne sikringen ivaretas av avrenningssjiktet. Alle skjøter i avrenningssjiktet klemmes kontinuerlig mot den trykkfaste isolasjonen med sløyfer.

¹⁷ Densitet og korttids- og langtids trykkfasthet



Figur 4.7.1

Prinsipiell oppbygging av ventilert skråtak med båndteking av metallplater. Snitt gjennom takplanet på tvers av takets fallretning

Vindtetting i overgangen mellom yttervegg og tak er imidlertid en av de viktigste tettedetaljene for alle tak, og løsninger for best mulig ivaretagelse av lufttettethet i denne overgangen vil bli nærmere studert ved gjennomføring av pilotprosjekt.

Ved båndteking med metallplater (se figur 4.7.1) anses det som unødvendig med et eget avrenningssjikt over isolasjonen, fordi sikkerheten mot lekkasjer her ivaretas med et vanntett sjikt under tekningen. Dette kan bestå av taktro med asfalt underlagsbelegg. Underlagsbelegg er nødvendig fordi det ofte har vist seg at selv dobbeltfalsede plater med innlagt tettemasse, ikke blir tilstrekkelig tette når takvinkel eller -form tilsier at båndtekingen blir stående under vanntrykk. Eventuell kondensdannelse på undersiden av metallplatene vil også bli ivarettatt av et vanntrykkett underlag.

Ved teking med takfolier, asfalt takbelegg eller takshingel med underlagsbelegg er det heller ikke nødvendig med et eget avrenningssjikt for drenering av nedbør, fordi disse i seg selv er vann- og vindtette. Slike tekninger har dessuten taktro som bærende underlag (pløyde bord eller trebaserte bygningsplater).

4.7.2 Brannteknisk beskyttelse over varmeisolasjonen

Tildekking av isolasjonen på oversiden med et platemateriale, eksempelvis gipsplater istedenfor glassfiberduk¹⁸, vil forsinke antennelsen av isolasjonen nede ved takfoten og dessuten trolig ha bedre effekt med hensyn til å redusere oksygentilgangen og dermed dempe brannutviklingen i isolasjonen. En ulempe med gipsplater, eller tilsvarende, er antakelig at slukkingen blir vanskeligere. Selv om glassfiberduken er vanntett, antas det at kjøleeffekten av slukkevannet bidrar til å dempe brannutviklingen. Totalt vil trolig en løsning med gipsplater eller tilsvarende over isolasjonen være noe bedre enn en løsning med glassfiberduk – men ikke vesentlig mye bedre. Kostnadene vil derimot være betydelig høyere.

Utførte brannforsøk (ref kapittel 5.3) viser at brannteknisk beskyttelse med glassfiberduk over skumplastisolasjonen gir en vesentlig reduksjon av oksygentilgangen, slik at en får en kontrollert smelting/ forbrenning av skumplastmaterialet. Dette innebærer at en for alle typer av taktekinger bør benytte et materialsjikt som kan ivareta brannteknisk beskyttelse over skumplastisolasjonen.

¹⁸ Glassfiberduk er benyttet som brannteknisk beskyttelse av isolasjonen ved storskala brannforsøk, ref kapittel 5.3

4.7.3 Materialer

Aktuelle materialer vil være typer av sperresjikt på rull, eksempelvis folieprodukter. Pilotprosjektet vil gi svar på om det kan finnes frem til et materiale som ivaretar funksjonen som avrenningssjikt/ vanntetting og brannteknisk beskyttelse over isolasjonen (eksempelvis en vanntett glassfiberduk) i ett og samme produkt.

4.8 Lufting

4.8.1 Funksjon

Luftingen av taket skjer her gjennom en luftespalte mellom tekning og avrenningssjikt, prinsipielt sett på samme måte som for tradisjonelle isolerte skrå kalde tak med kombinert vindsperre og undertak.

Hensikten med luftingen på tak over oppvarmede rom er både å hindre isdannelser på taket ved å holde taktekningen kaldest mulig, og å ventilere bort byggfukt¹⁹ og eventuell fukt i form av kondens eller lekkasjer fra mindre utettheter i konstruksjonen (altså lufting for å oppnå tilfredsstillende fuktsikring).

Takflatenes størrelse og utforming har konsekvenser både for takkonstruksjonens oppbygging og høyden på luftespalten. Vinkelrenner, arker, takvinduer, pipeløp og liknende detaljer medvirker til å hindre effektiv lufting på deler av takflaten, fordi de sammenhengende kanalene fra raft til møne brytes. Manglende lufting slike steder kan bidra til snøsmelting og isdannelser. Tak med tekning av asfalt takbelegg, shingel, folie eller liknende lagt direkte på en taktro er særlig utsatt²⁰. Dette fordi en her ikke får den ekstra luftingen som en opplekket tekning gir gjennom såkalt krysslufting.

Varmegjennomgangen gjennom taket og faren for snøsmelting avtar naturligvis med økende varmeisolering. Men, selv på godt isolerte tak vil en kunne få snøsmelting dersom varmen ikke ventileres bort. Dette skyldes at snølaget har en isolerende effekt som hever temperaturen på takflaten og underliggende konstruksjoner. Et snølag på taket vil kunne føre til så høy temperatur på en dårlig luftet takflate at snøen smelter selv ved utetemperaturer på flere minusgrader. Smeltevannet renner nedover takflaten og fryser til is ved den kalde takfoten (raft), se figur 4.8.1. Større isdannelser vil etter hvert kunne demme opp for smeltevannet slik at det renner inn gjennom tekningen og videre ned i takkonstruksjonen. Isen vil også kunne skade tekning, beslag og takrenner. En takkonstruksjon med utvendig nedløp vil alltid medføre risiko for isdannelser om vinteren [3, 4]. Denne risikoen øker dersom luftespalten er liten, ventileringen av denne er dårlig og innetemperaturen er høy (stor differanse mellom inne- og utelufttemperatur).

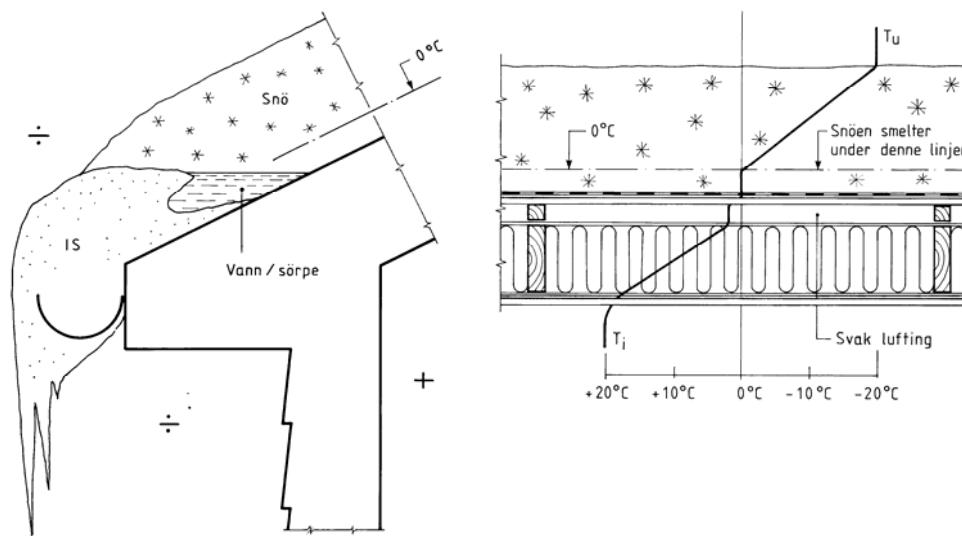
¹⁹ Byggfukt er overskudd av fukt som må tørke ut før materialene får likevektsfuktinnhold i henhold til luftfuktigheten i bygningen eller omgivelsene

²⁰ Ref Byggforskserien Byggetaljer 525.101 *Isolerte skrå tretak med lufting under undertak*

4.8.2 Nødvendig luftespaltehode

Det er vanskelig å angi detaljerte og generelle retningslinjer for utforming av luftespalter og spalteåpninger, fordi behovet for lufting er avhengig både av hvor mye varme som transporteres opp gjennom takkonstruksjonen, takformen, takvinkelen og lokale klimaforhold (vindhastighet, snømengder, utetemperatur, solstråling og langbølget strålingsutveksling mellom takoverflaten/snødekket og atmosfæren). I vindstille vær er eksempelvis trykkforskjellene på grunn av termisk oppdrift²¹ den eneste naturlige drivkraften for luftingen. Dette drivtrykket øker tilnærmet proporsjonalt med høydeforskjellen mellom luftinntak (raft) og luftuttak (møne), og med forskjellen mellom middeltemperaturen i spalten og utelufttemperaturen.

Norske byggeskikktradisjoner legger stor vekt på god lufting av isolerte skrå tretak. Behovet for og utformingen av denne luftingen har imidlertid vært gjenstand for diskusjon i en årrekke. Dette gjelder både selve luftespaltehode og luftåpningenes størrelse ved takfot og møne. Dimensjonerende kriterium for valg av luftespaltehode er funnet å være risikoen for isdannelse ved raft som følge av snøsmelting [4, 8], illustrert i figur 4.8.1.



Figur 4.8.1

Eksempel på temperaturfordeling gjennom en isolert takkonstruksjon med manglende lufting, hvor snøsmelting fører til isdannelse ved takfoten. Temperaturfordelingen er vist over et snitt i takplanet (Håndbok 45 *Trehus*, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 1997)

For småhustak og tak med avstand fra møne til raft inntil ca. 7 m, bør høyden på luftespalten erfaringsmessig være ca. 50 mm. Luftespalten utformes vanligvis ved å feste 48 mm høye lekter på sperrene. Sløyfene benyttes da samtidig til å klemme omleggsskjøtene i vindsperreren. Luftespaltene på saltak må ha åpning både ved raft (luftinntak) og møne (luftuttak).

Når avstanden fra raft til møne er større enn ca. 7 m, anbefaler NBI at høyden på luftespalten økes til 75 – 100 mm. I tillegg bør slike store tak krysslufte ved å lage luftåpninger også langs gavlveggene (ved tekning på lekter og sløyfer fås automatisk en viss krysslufting). Behovet for en stor luftespalte er størst der det er lite vind og mye snø, og ved små takvinkler.

Dampsperreren og vindsperreren må være lufttett dersom luftingen skal fungere som forutsatt. Takbelegget som her legges på bærende himling (ref kapittel 4.4) danner en kontinuerlig og

²¹ Det termiske oppdriftstrykket skyldes at varm luft er lettere enn kald luft. Drivtrykket er avhengig av høydeforskjellen mellom raft og møne, og temperaturdifferansen mellom lufttemperaturen i luftespalten og i uteluften

tett dampsperre i det ferdige taket. Risikoen for kondensdannelse er da nærmest eliminert. I tillegg opptar både ekstrudert og ekspandert polystyren minimalt med fukt.

4.9 Taktro/ undertak

Tak som skal tekkes med asfalt takbelegg, asfaltshingel eller takfolie, må ha en bærende taktro under tekningen. Taktroen dimensjoneres slik at den kan oppta nødvendige snø- og vindlaste og gangtrafikk. Taktro kan utføres av pløyde bord (rupanel), bygningsplater av kryssfiner, OSB-plater eller fuktbestandige sponplater.

Tak som båndtekkes med metallplater bør utføres med et underlagsbelegg på taktro for å få tilfredsstillende sikkerhet mot lekkasjer, ref figur 4.7.1.

All lufting skjer på undersiden av taktroen/ undertaket. For nevnte tekninger er det ikke nødvendig med et eget avrenningssjikt for drenering av nedbør, ref kapittel 4.7.1. Utførte brannforsøk viser imidlertid at det for alle typer av taktekninger vil være nødvendig med et materialsjikt som kan ivareta brannteknisk beskyttelse over skumplasticolasjonen, ref kapittel 4.7.2.

Ved tekking med profilerte metallplater anbefaler NBI for tradisjonelle takkonstruksjoner at en alltid benytter undertak. Hensikten med undertaket er først og fremst å fange opp og lede bort nedbør som trenger inn under tekningen. Undertaket skal også lede bort kondensvann som danner seg under tekningen, slik at vann ikke kan komme inn i de underliggende konstruksjonene. For det beskrevne fuktsikre konstruksjonsprinsippet blir undertakets funksjon ivaretatt av avrenningssjiktet, se kapittel 4.7, eget undertak er derfor ikke nødvendig.

4.10 Taktekning

I utgangspunktet er konstruksjonsprinsippet med utenpåliggende trykkfast isolasjon anvendelig under alle typer av tekninger. Prinsippet er imidlertid mest aktuelt for opplektede tekninger (betong- og tegltakstein, skifer eller metallplater). Først og fremst fordi det er her en har de største problemene med vannlekkasjer utenfra i isolerte skrå, luftede tak. Opplektede tekninger er også de mest vanlige i Norge i dag, både for store tak og småhustak.

Konstruksjonsprinsippet vil være meget velegnet ved ombygging og rehabilitering av eldre takkonstruksjoner. NBI har erfaring fra flere ombygginger av loft i bygårder hvor en i praksis har utført taket betydelig mer komplisert og kostnadskrevenne enn de konvensjonelle løsningene som pr. i dag er omtalt i Byggforskeriens Byggedetaljer for nybygging. Prinsippet vil gi stor sikkerhet mot fuktskader, og er spesielt egnet i tilfeller hvor en ønsker å beholde de gamle takkonstruksjonene synlige på innsiden, og hvor en ønsker å gjenbruke takstein/tekninger med lav tetthet (eksempelvis ufalsede gamle teglpanner).

Båndtekning med metallplater, tekning med profilerte metallplater på undertak, asfalt takbelegg, asfaltshingel eller takfolier, er alternativer til taksteinstekning for det beskrevne konstruksjonsprinsippet. Siden disse tekningene har et tilnærmet lufttett undertak, vil løsningen gi en lufttilgang på oversiden av isolasjonen som er mindre enn ved tekning med takstein. Dette er gunstig med tanke på å dempe en eventuell brannutvikling. Det vil imidlertid være vanskeligere å få slukkevann inn i hulrommet over isolasjonen. Det er likevel mulig å få inn vann ved mønet ved å fjerne mønebeslaget («mønehatten»). Totalt sett vurderes nevnte alternativer å være brannteknisk likeverdig med opplektede taksteinstekninger. Branntekniske egenskaper til selve taktekningen bør følge veiledning til TEK §7-24 pkt 2, altså generelt tilfredsstillende klasse Ta – med unntak for bygninger hvor risikoen for brannspredning er liten. Som eksempel på det siste angir veiledningen områder med frittstående

småhus (eneboliger og tomannsboliger med inntil 3 etasjer) der avstanden mellom de enkelte bygningene er minst 8 m.

Vanlig taktekn timer av asfalt takbelegg, asfaltshingel, takfolier og metallplater som benyttes i Norge i dag tilfredsstill er klasse Ta.

Ulike tekninger og utførelsen av disse er ellers utførlig behandlet i Byggforskserien, Gruppe 544 om taktekking.

4.11 Erfaringer fra andre land

Ulike konstruksjonssystemer med varmeisolasjon plassert på oversiden av bærekonstruksjonen i skrå luftede tretak har vært benyttet i en rekke europeiske land i mange år. Spesielt har tyske leverandører av skumplastprodukter utviklet løsninger basert på polyuretanskum, blant annet i form av isolasjonselementer med aluminiumshud. Også isolasjonssystemer med ekstruderte polystyrenplater har fått teknisk godkjenning gjennom nasjonale godkjenningsordninger i land som Storbritannia, Frankrike og Tyskland.

Prinsippet med plassering av all varmeisolasjon på utsiden av bærekonstruksjonen i skrå luftede tak, med hensikt å oppnå best mulig sikkerhet mot fuktproblemer, er omtalt i en rekke vitenskapelige tidsskriftsartikler, ikke minst med tysk grundighet i tidsskriftene *Bauen mit Holz* og *Bauphysik*. Løsningene tilfredsstill er imidlertid ikke norske forskriftskrav når det gjelder varmeisolering.

En rekke tekniske forhold ved disse takkonstruksjonene, spesielt med hensyn til klimatilpassning, tilsier at det er nødvendig å utvikle løsninger som er bedre tilpasset norske forhold:

- det er hittil anvendt isolasjonstykkelser som bare er inntil halvparten av de 200 – 250 mm som er nødvendig for å tilfredsstill er krav til varmeisoleringsevne gitt i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven
- tradisjonelt har en ikke lagt så stor vekt på lufttetting av isolerte konstruksjoner som tilfellet er i Norge. Dette gjelder særlig vindspærresjiktet på utsiden av isolasjonen, men også tilslutningsdetaljer mellom bygningsdelene (tak/ yttervegger)
- det stilles mindre strenge krav til lufteåpninger og luftespaltehøyde (kanaltverrsnitt) enn tilfellet er i Norge
- kravene til sikkerhet mot brannspredning er til dels mindre strenge, blant annet er fritt eksponerte skumplastoverflater tillatt i enkelte tilfeller
- det er benyttet isolasjonsmaterialer av relativt dyre kvaliteter av polyuretan (PUR) og ekstrudert polystyren (XPS)
- utførelsen av generelle byggdetaljer, materialbruk og tilgjengelige bygningsprodukter er i stor grad basert på lokale tradisjoner og byggeskikk, og varierer derfor mye fra land til land.

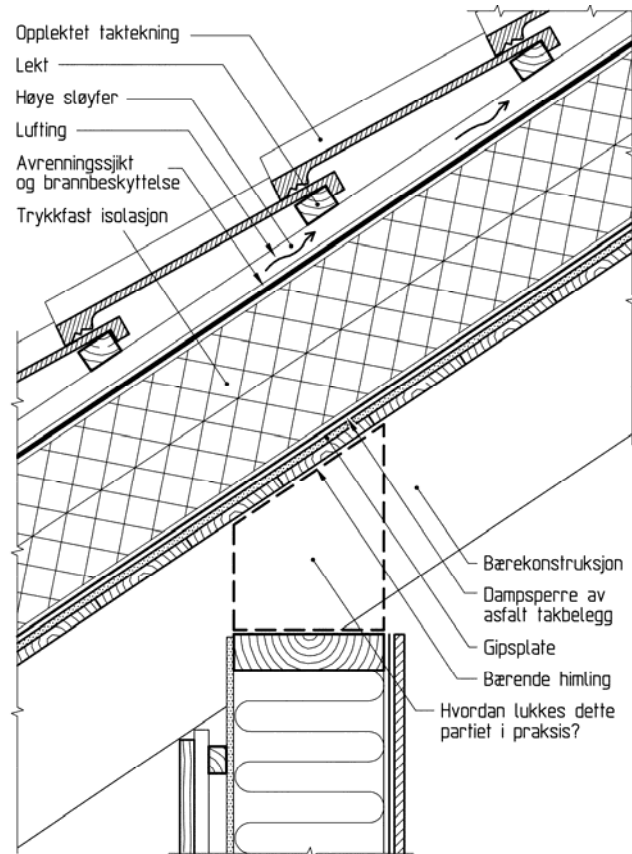
Det er også utviklet isolasjonssystemer basert på mineralull. Men, mineralullprodukter med tilstrekkelig trykkfasthet til å understøtte sløyfer direkte blir uforholdsmessig dyre ved normale snølastkrav. Et sveitsisk firma har imidlertid utviklet en spesielle skrue som gjør det mulig å la sløyfene være understøttet av skruene alene, slik at en kan benytte isolasjonsmaterialer uten krav til trykkfasthet. En ulempe med et slikt system er blant annet at det krever tørt vær under monteringen, fordi mineralull ikke tåler særlig mye nedbør og fuktpåvirkning før isolasjonsevnen og bestandigheten reduseres. Systemet stiller også strenge krav til plasse-

ringsmål og toleranser, noe som innebærer en mer tidkrevende – og dermed dyrere – utførelse.

Som konstruksjons*prinsipp* er imidlertid bruk av utenpåliggende varmeisolasjon i skrå lufte-
de tretak vel etablert i flere europeiske land.

4.12 Detaljløsninger

En rekke tekniske detaljløsninger er ikke endelig avklart med hensyn til utforming og utførelse. Dette gjelder blant annet utførelsen av overgangen mellom takplan og yttervegg, se eksempel i figur 4.11.1. Slike detaljløsninger vil søkes løst ved planlegging og gjennomføring av fullskala prøveprosjekt. Forhold som ønskes nærmere belyst er angitt i kapittel 7.



Figur 4.11.1

Eksempel på detaljløsning som ikke er endelig avklart med hensyn til utforming og utførelse. Ulike alternativer for lukking av overgangen mellom takplan, bærekonstruksjon og yttervegg vil bli belyst ved gjennomføringen av planlagt pilotprosjekt

4.13 Utvikling av prefabrikkerte løsninger

Konstruksjonsprinsippet med utenpåliggende trykkfast isolasjon bør være meget velegnet for utvikling av prefabrikkerte løsninger (ref kapittel 3.5), og da spesielt for isolasjonsdelen med tilhørende opplekting av tekningen. Mulighetene for produktutvikling vil bli nærmere belyst ved gjennomføring av pilotprosjekt.

5 Branntekniske forhold

5.1 Generelt om materialbruk i bygninger

Generelle bestemmelser for materialbruk i bygninger er gitt i Teknisk forskrift (TEK, 1997) til plan- og bygningsloven (pbl) med veiledning. Det er ikke gjort spesielle endringer med hensyn til materialbruk i bygninger i forhold til tidligere regelverk. Dette betyr at sikkerhetsnivået som ble lagt til grunn i de tidligere mer detaljerte regler gitt i forskrift, veiledning og meldinger fortsatt regnes som akseptabelt selv om regelverket har fått en annen form («funksjonsbaserte» forskrifter).

Melding HO-1/94 «Plast i bygninger» er opphevet, men arbeidet med en ny «plastmelding» er igangsatt ved Statens bygningstekniske etat. Takkonstruksjoner ble for øvrig ikke spesielt omtalt i HO-1/94. Det er heller ikke avklart om dette vil bli gjort i den nye meldingen.

5.2 Teknisk forskrift (TEK) 1997 med veiledning

5.2.1 Generelt

Ved innføring av nytt regelverk i 1997 har intensjonen vært å videreføre det sikkerhetsnivået som lå til grunn i de tidligere bestemmelsene.

Teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven (pbl) angir overordnede funksjonskrav (med noen unntak). Ytelsesnivåer (eksempelvis brannmotstand) som tidligere var angitt i forskriften, er nå flyttet ned til veiledningsnivå. De er dermed ikke bindende. Dette betyr at en enten kan velge å prosjektere i henhold til den fortolkning som er gitt i veiledningen (myndighetenes tolkning av funksjonskravene), eller brannsikkerheten kan dokumenteres utførlig i hvert enkelt tilfelle.

Dokumentasjonsprinsippet er beskrevet slik i TEK, §7-21 *Dokumentasjon ved brann*:

«Oppfyllelse av kravene til sikkerhet ved brann slik som de er fastsatt i dette kapittel, kan dokumenteres på to måter, enten ved at byggverket utføres i samsvar med preaksepterte løsninger, eller ved analyse og/eller beregninger som dokumenterer at sikkerheten mot brann er tilfredsstillende. Analyse og/eller beregning skal simulere brannforløp og angi nødvendige sikkerhetsmarginer for de ugunstige forhold, som kan inntre ved bruk av byggverket. Det skal dokumenteres at anvendt analyse-/beregningsmetode er egnet til formålet og at dimensjonerende brannbelastning fremkommer ved anerkjente dokumenterbare metoder»

Med «preaksepterte løsninger» menes i første rekke prinsipper og løsninger som er angitt i veiledning til TEK, men også løsninger angitt i andre anerkjente publikasjoner (som for eksempel Byggforskserien). Dokumentasjon ved bruk av veiledningen, eller dokumentasjon gjennom analyse eller beregning, er alternative og likeverdige måter å tilfredsstille forskriftens krav til sikkerhet ved brann, ref veiledningens §7-21 pkt 1.

5.2.2 Bærende konstruksjoner

Teknisk forskrift (TEK)

Kravene til bærende konstruksjoner er avhengig av bygningens brannklasse:

«Byggverk i brannklasse 1 og 2

Byggverk i brannklasse 1 og 2 skal bevare sin stabilitet og bæreevne i minimum den tid som er nødvendig for å rømme og redde personer i og på byggverket.

For byggverk i brannklasse 1 beregnet for virksomhet i risikoklasse 1 og 2 stilles det ikke krav til stabilitet og bæreevne ved brann utover det som følger av forskriften for å ivareta personsikkerheten ved rømning.

Byggverk i brannklasse 3 og 4

Bærende hovedsystem i brannklasse 3 og 4 skal utføres slik at byggverket bevarer sin stabilitet og bæreevne gjennom et fullstendig brannforløp.

Sekundære konstruksjoner og konstruksjoner som bare er bærende for én etasje, eller for tak, skal bevare sin stabilitet og bæreevne i den tiden som er nødvendig for å rømme og redde personer i og på byggverket».

Ved beregning av bæreevne og stabilitet angir for øvrig forskriften at det kan ses bort fra de bærende konstruksjoners bidrag til brannforløpet for bygninger i brannklasse 1 og 2. Dette tolkes slik at brannbelastning fra de bærende konstruksjonene ikke medregnes.

Veiledning til TEK

Den tolkning sentrale myndigheter har gjort av funksjonskravene i forskriften har resultert i følgende tabell i veiledningen²²:

Bygningsdel	Brannklasse (BKL)		
	1	2	3
Bærende hovedsystem ^{1,5}	R30 ²	R60 ²	R90 ^{2,7}
Sekundære, bærende ^{5,6} bygningsdeler, etasjeskillere	R30	R60	R60 ²
Trappeløp ⁴	-	R30	R30 ²
Bærende bygningsdel under øverste kjeller ²	R60	R90	R120

Tabell 5.2

Krav til bærende bygningsdelers brannmotstand utfra brannklasse. Indeks 2 angir at bygningsdelene må utføres i ubrennbare materialer

Takkonstruksjonen er å anse som en sekundært bærende bygningsdel, når den ikke er en del av byggets hovedbæresystem eller medvirker til å stabilisere dette. En praktisk tolkning av dette er at konstruksjonsdeler som kan kollapse lokalt uten at dette påvirker øvrige (hoved-) konstruksjoner, kan betraktes som sekundære bygningsdeler. Dersom dette er tilfelle kan det altså brukes bærende trekonstruksjoner i brannklasse 1 og 2. Dette gir begrensninger i antall etasjer som vist i tabell 5.3.

²² Ref Ren veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997, §7-23 tabell 1

Risikoklasse	Virksomhet	Antall etasjer for brannklasse 1 og 2
1	Driftsbygninger i landbruk, garasjer, trelastopplag	Ingen begrensning
2	Industri, lager, kontor	4 etasjer
3	Barnehage, skole	4 etasjer
4	Omsorgsboliger ²³ , bolig	4 etasjer
5	Forsamlingslokaler, salgslokaler	2 etasjer
6	Overnatting, sykehus	4 etasjer

Tabell 5.3

Begrensning i antall etasjer for brennbare takkonstruksjoner dersom konstruksjonen er definert som sekundært bærende bygningsdel

Dersom takkonstruksjonen anses som bærende hovedsystem er bruk av trekonstruksjoner i henhold til veiledningen begrenset til brannklasse 1, ref tabell 5.4.

Risikoklasse	Virksomhet	Antall etasjer for brannklasse 1
1	Driftsbygninger i landbruk, garasjer, trelastopplag	4 etasjer, pluss øverste etasje i bygninger med 3 eller 4 etasjer
2	Industri, lager, kontor	2 etasjer
3	Barnehage, skole	2 etasjer
4	Omsorgsboliger ²³ , bolig	2 etasjer (3 etasjer hvis hver boenhet/branncelle har direkte utgang til terreng)
5	Forsamlingslokaler, salgslokaler	1 etasje (2 etasjer for salgs- og forsamlingslokale med totalt bruttoareal under 800 m ²)
6	Overnatting, sykehus	1 etasje (2 etasjer for overnattingssted med bruttoareal under 300 m ² pr etasje)

Tabell 5.4

Begrensning i antall etasjer for brennbare takkonstruksjoner dersom konstruksjonen er del av det bærende hovedsystem for bygningen

Selve takflaten kan være sekundærbærende eller tertiærbærende (utfyllende) mellom et bjelke-/ søylesystem. Dersom lokal gjennombrenning ikke har negativ innvirkning på tilstøtende konstruksjoner vil brannmotstand for takflaten normalt ikke være nødvendig dersom dette ikke kreves fordi takflaten er en branncellebegrensende bygningsdel. Med brennbar isolasjon vil det likevel være en åpenbar fordel å forsinke antennelsen av isolasjonsmaterialet og dermed eventuell brannspredning i takflaten, i alle fall inntil det er dokumentert at denne brannspredningen vil bli begrenset. Nødvendig brannmotstand vil være avhengig av forhold omkring rømning og redning, og av hensyn til begrensning av materielle skader.

5.2.3 Isolasjonsmaterialer

Veiledningens §7-24, pkt 2, angir følgende:

«Isolasjon i konstruksjoner må ikke bidra til økt risiko for brannspredning i en bygning. Isolasjonen må derfor i utgangspunktet være ubrennbar. Brennbar isolasjon (som skumplast og cellulosefiber) kan likevel benyttes såfremt den anvendes slik at den ikke bidrar til brannspredning. Dette kan for eksempel ivaretas ved at den mures eller støpes inn. Beskyttelsen vil også ha som formål å hindre fremtregning av giftige gasser og røyk fra isolasjonen ved en eventuell brann.

Brennbar isolasjon kan imidlertid ikke nyttes i brannvegg, seksjoneringsvegg og enkelte takkonstruksjoner».

²³ Når det gjelder omsorgsboliger, hvor det forutsettes å bo sterkt pleietrengende personer, kan det være nødvendig å plassere disse i risikoklasse 6

Unntak for «enkelte takkonstruksjoner» som er angitt i siste setning gjelder for brannklasse 1 dersom bærekonstruksjonen i taket oppføres uten brannmotstand i bygning uten loft eller med loft som ikke kan benyttes som *hoveddel* i henhold til definisjon gitt i NS 3940 (ref tabell 5.2).

5.2.4 Brennbar isolasjon i takkonstruksjoner

Følgende bestemmelser finnes i Veiledningens §7-24 pkt 2:

«Takflater isolert med brennbar isolasjon må være slik utformet at brann ikke kan spre seg over store flater, til underliggende brannceller eller fra en brannseksjon til en annen. Tak med brennbar isolasjon må derfor deles i arealer på høyst 400 m². Ved seksjonering erstattes brennbar isolasjon med felt av ubrennbar isolasjon i en bredde på min. 2,4 m. Seksjonering av takflaten bør være sammenfallende med underliggende branncelleoppdeling av bygningen.

Dersom den brennbare isolasjon er tildekket eller bygget inn mellom ubrennbare materialer slik at oksygentilførselen forhindres, vil det ikke være nødvendig med oppdeling....»

5.2.5 Innbygging og oppdeling av brennbar isolasjon

Tidligere innarbeidede prinsipper for sikring ved brannskiller og gjennomføringer mv anses fortsatt å være anvendelige (selv om de ikke er medtatt i veiledningen til TEK):

- ubrennbar isolasjon i avstand minst 60 cm omkring gjennomføringer (takluker, kanaler mv)
- ubrennbar isolasjon i avstand minst 60 cm innover takflaten fra gesims eller brennbar parapet
- ubrennbar isolasjon i avstand minst 60 cm fra tilliggende brennbar vegg eller brennbar fasadekledning
- ubrennbar isolasjon med bredde 60 cm ut til hver side fra brannvegg som er ført minst 0,5 m over tak
- ubrennbar isolasjon med bredde 240 cm over brannvegg som er avsluttet mot betongdekke (med overliggende isolasjon)
- ubrennbar isolasjon med bredde 240 cm for oppdeling av brennbar isolasjon i arealer på inntil 400 m² (der hvor det ikke er vertikal skillekonstruksjon over takflaten).

5.3 Dokumentasjon ved storskala brannforsøk

5.3.3 Formål

Branntekniske bestemmelser har tidligere vært til vesentlig hinder for bruk av skumplastisolasjon, ikke minst i kombinasjon med trekonstruksjoner. Selv om slike takkonstruksjoner til en viss grad er benyttet i andre land, finnes det lite dokumentasjon av branntekniske egenskaper for slike konstruksjoner som helhet. Tidligere forskrifter har heller ikke formalisert muligheten for utførlig dokumentasjon slik det nå er gjort i TEK, se kapittel 5.2.1. Det er derfor gjennomført storskala brannforsøk med formål å fremskaffe slik dokumentasjon for ventilerte skrå tretak med skumplastisolasjon over bærekonstruksjonen.

Følgende hovedpunkter ble ansett som vesentlige å dokumentere vedrørende brann fra ut-siden/takfoten:

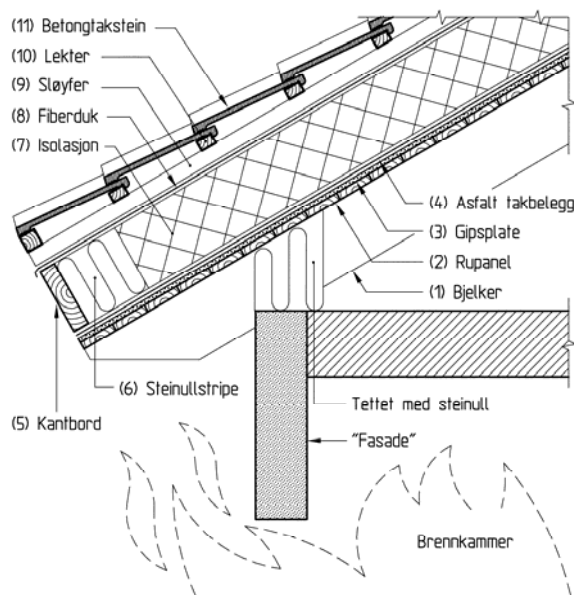
- hvordan og hvor raskt brannen sprer seg over takflaten
- om det er fare for at brannen kan spre seg nedover gjennom taket
- muligheter for slukking
- om smeltet isolasjon vil dryppe fra takfot
- hvordan røykutviklingen er.

To forsøk ble utført med skumplastisolasjon. For å kunne sammenlikne med en mer tradisjonell takkonstruksjon ble det også gjennomført en referansetest med et tak isolert med steinull.

Brannprøvingen er gjennomført ved Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut (SP), Borås, Sverige. Prøvingen er dokumentert i [9].

5.3.4 Prøvekonstruksjon

Prøveobjektene var tre takkonstruksjoner med ytre mål 3,4 m x 4,0 m (bredde x lengde). Bærekonstruksjon og bærende himling var lik for de tre takene, mens den utenpåliggende isolasjonen ble variert. Alle takene hadde opplektet tekning av takstein, se figur 5.3.1.



Figur 5.3.1

Skrått isolert og luftet tretak med skumplastisolasjon, slik som prøvet ved SP i Borås, Sverige

- *Tak A*, referansetak, ble isolert over takbelegget med 195 mm steinull (30 kg/m^3) mellom langsående trebjelker $34 \times 195 \text{ mm}$ og senteravstand 600 mm. På oversiden ble det lagt en hard trefiberplate med tykkelse 3,2 mm som undertak.
- *Tak B* ble isolert med skumplast, selvslukkende kvalitet, 30 kg/m^3 (Sundolitt S-150 SE, klasse B1 etter DIN 4102). En stripe på 200 mm nærmest takfoten ble isolert med steinull (6). Sløyfer og lekter ble montert direkte på skumplasten.
- *Tak C* ble utført som tak B, men med en glassfiberduk med tykkelse ca. 0,7 mm (Isola, 120 g/m^2) på oversiden av isolasjonen (8).

5.3.5 Brannprøving

Formålet med prøvingen var å undersøke brannutviklingen i takkonstruksjonene ved en brann mot takfoten. Det finnes ingen standardisert prøvemetode for dette, men det ble valgt å legge *SP FIRE 105*, utgave 5, til grunn for prøvingen. Denne prøvemetoden er utviklet for branntesting av fasader, men med en tilpasset prøveoppstilling ble riggen/ metoden funnet godt egnet og realistisk, også for prøving av tak. Brennkammer og tennkilde er i samsvar med *SP FIRE 105*, som simulerer en leilighetsbrann med flammer ut av vindu.

Prøvingen simulerer altså et vanlig brannscenario med flammer ut av vindu i fasaden, hvorfra brannen sprer seg videre oppover. Dette er en svært typisk situasjon, og en spredningsvei som hvert år forårsaker store brannskader – i første rekke på grunn av brannspredning inn på kalde loft. Fotografier fra prøvingen er vist i figurene 5.3.2 – 5.3.6.



Figur 5.3.2
Prøveoppstilling, sett forfra

Referansetesten pågikk i 30 minutter, men prøvingen av de skumplastisolerte takene ble avbrutt etter ca. 20 minutter på grunn av røykutviklingen.



Figur 5.3.3
Fra brannforsøk. Bildet viser flammepåkjenningen ved takfot

5.3.6 Hovedresultater

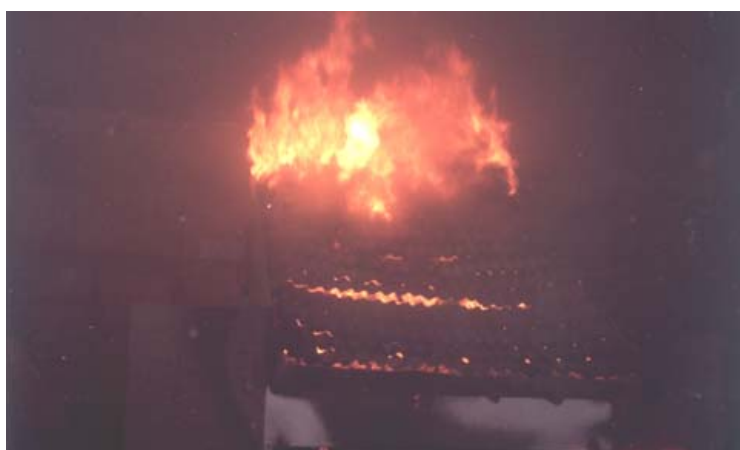
Hovedresultatene fra brannprøvingen kan kort beskrives som følger:

- Udekket plastisolasjon i taket gir naturligvis en raskere brannspredning og kraftigere brann under taksteinen enn referansetak med steinullisolasjon. Med glassfiberduk over skumplastisolasjonen reduseres imidlertid oksygentilgangen sterkt, slik at en får en kontrollert smelting/ forbrenning av plastmaterialet. Uten glassfiberduk over isolasjonen tok det ca. 10 minutter fra brannen slo ut av brannrommet og traff takfoten, til flammer slo ut ved mønet. Dette gir en flammespredningshastighet på ca. 0,4 m/min. Med overliggende glassfiberduk var det ingen flammer ut fra mønet i løpet av ca. 15 minutter etter at takfoten ble eksponert. Med glassfiberduk er det også svært lite flammer ut fra takflaten for øvrig (tilnærmet lik null). Dette er gunstig med hensyn til faren for brannspredning til nabobygninger.
- Brannen sprer seg på utsiden av taket, men ikke nedover gjennom bærende himling. I alle forsøkene, også i begge med skumplastisolasjon, var bærende himling av rupanel helt uskadet etter forsøket. Også gipsplaten var stort sett uskadet, bortsett fra nederst ved takfoten. Etter at skumplastisolasjonen relativt raskt er forsvunnet, er det så lite brennbart materiale igjen over gipsplaten (bare sløyfer og lekter) at brannspredning nedover i takkonstruksjonen rett og slett ikke er mulig.
- Det var enkelt å slukke brannen i de skumplastisolerte takene etter ca. 20 minutter, og lettere enn å slukke brannen i trematerialene (bjelkene) i taket med steinullisolasjon. Hovedgrunnen til at brannen i de plastisolerte takene lett lot seg slukke var at gjenværende mengde brennbart materiale var liten.
- Slukkevannet trenger ikke inn i takkonstruksjonen. Dette er meget gunstig med hensyn til skadeomfanget. Det er ikke uvanlig at skadene på grunn av slukkevann blir like store som selve brannskadene etter brann i en bygning.
- Det forekom ingen drypping av smeltet isolasjon ved takfot under noen av forsøkene. Det er altså ingen risiko for slukkemannskaper eller andre å bevege seg under takfoten når det brenner på taket. I forsøket med glassfiberduk lå det etter slukking noe smeltet isolasjon igjen nede ved mineralullremsen ved takfot, den virket altså som planlagt. I forsøket uten glassfiberduk var det ingen plastisolasjon igjen i taket.
- En ulempe med brann i skumplastisolasjon er den kraftige røykutviklingen.



Figur 5.3.4

Fra brannforsøk. Prøvetak A, referansetak (tid 18:38). Ingen flammer ut av takflaten i løpet av prøvetiden på 30 minutter



Figur 5.3.5

Fra brannforsøk. Prøvetak B (tid 18:06). Kraftig brann i takets øvre del



Figur 5.3.6

Fra brannforsøk. Prøvetak C (tid 18:35). Små flammer fra takflaten (primært ved sidedekkbord)

5.3.7 Risikovurdering

Generelt

I en konkret byggesak kan det være nødvendig å gjøre en spesiell risikovurdering ved bruk av skumplastisolasjon på tretak. I de påfølgende delkapitler diskuteres noen av de problemstillingene som må vurderes ved en slik analyse.

Personrisiko

Sikkerheten for personer som oppholder seg i en bygning hvor det oppstår brann er avhengig av hvor raskt brannen utvikler og sprer seg, hvor raskt brannen oppdages og hvilke muligheter som finnes for rømning. Brannutviklingen og -spredningen inne i bygningen bestemmes i de tidligste fasene av en brann. Avgjørende er type, mengde og fordeling av mobil brannbelastning og type innvendige overflater. Utvikling og spredning av røyk utgjør vanligvis den første og største trussel mot liv og helse.

I mindre rom/ brannceller, for eksempel i vanlige boliger, vil takkonstruksjonen ikke bli særlig påkjent av en brann før overtenning har skjedd. Dersom ikke vinduer står åpne er overtenning også en forutsetning for at takfoten skal bli brannpåkjent siden vinduene da må knuses først. Personer som skal overleve en brann må være ute av brannrommet i god tid før overtenning.

I store rom (eksempelvis idrettshaller, kjøpesentre ol) kan det oppstå en større brann som gir brannpåkjenning på en avgrenset del av himling/ takkonstruksjon, uten at overtenning inntrer. For å hindre at gjennombrenning skjer så raskt at takmaterialer faller ned, eller forbrenningsprodukter (røyk) fra taket trenger inn i bygningen før hele rommet er evakuert, må himlingen ha en brannmotstand som gir tilfredsstillende tid til rømning.

I dette prosjektet er det forutsatt en gjennombrenningstid på 30 minutter mellom innvendig rom og isolasjonssjiktet, noe som antas å være tilfredsstillende med bærende himling av 21 mm trepanel pluss ett lag 13 mm gipsplater. Denne løsningen vurderes å gi tilstrekkelig tid til rømning i de fleste typer bygninger. Med den valgte utførelse vurderes derfor personsikkerheten å være den samme enten det benyttes brennbar eller ubrennbar isolasjon i taket.

Røyk som utvikles i brennende skumplast kan under spesielt ugunstige forhold være en trussel for personer i nærliggende bygninger, spesielt dersom taket ligger inntil høyere bygninger. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle, også i forhold til den mengde røyk som uansett produseres ved brann i en bygning. For frittliggende bygninger med forskriftsmessig avstand til nabobygninger antas røyken ikke å være noe spesielt problem.

Risiko for slukkemannskaper

De brannforsøk som er gjort viser at det er svært liten sannsynlighet for at brann i isolasjonen vil kunne gi gjennombrenning av taket fra oversiden. Isolasjon, sløyfer, lekter og asfalt takbelegg kan brenne opp uten at trepanelet i himlingen antennes. Det antas altså at den bærende himlingen bare vil kunne gjennombrennes fra undersiden, enten ved en lokal brannpåkjenning eller etter overtenning.

Dersom himlingen gjennombrennes fra undersiden som følge av en massiv brannpåkjenning etter overtenning, vil takisolasjonen av skumplast kunne antennes, utvikle røyk og bidra til brannen over store flater. Polystyren vil også kunne smelte og dryppe fra taket der skumplasten ikke brenner opp umiddelbart. Ved et slikt tilfelle, etter overtenning i et rom, vil slukkemannskaper uansett ikke kunne utføre slukkearbeid inne i brannrommet.

Ved en langvarig lokal brann i et stort rom som gir gjennombrenning av bærende himling, vil isolasjonen antennes og brenne lokalt. Siden det benyttes isolasjon av «tungt antennelig» kvalitet antas det at brannen i isolasjonen vil forbli av lokal art, men utbredelsen bestemmes av hvor stor brannkilden i rommet er. Røykutviklingen kan ved et slikt tilfelle være et pro-

blem for slukkemannskapene. Problemet reduseres dersom bygningen/ brannrommet har effektiv røykventilasjon.

Både med tanke på brannutbredelsen i rommet og i takflaten, vil det være en fordel å få rask gjennombrenning/ åpning i taket til friluft. Sammenlignet med ubrennbar isolasjon må det antas at takkonstruksjoner med skumplast vil åpne seg noe tidligere opp mot taktekningen ved brann innenfra, selv om også mineralullplater faller ned samtidig med himlingen dersom det ikke er sikret spesielt mot dette.

Siden det er svært lite sannsynlig at gjennombrenning av himlingen kan skje ovenfra på grunn av brann i isolasjonen, vil slukkemannskaper, bortsett fra umiddelbart over rom som brenner, kunne utføre slukkearbeid fra oversiden av taket uten fare for å falle gjennom. Slukking av brann fra/ på taket vil imidlertid kunne begrenses eller hindres på grunn av røykutviklingen. Konsekvensene av dette begrenses imidlertid ved at takflate/ isolasjon deles opp i seksjoner som utgjør et akseptabelt tap. Med den valgte utførelse av takkonstruksjonen, og en effektiv oppdeling av taket med felter/ striper av ubrennbar isolasjon, kan takisolasjonen i én seksjon tillates å brenne fritt. Det er lite sannsynlig at brannen vil spre seg nedover gjennom taktroen eller til andre seksjoner av taket.

Smeltet polystyren som drypper ned utvendig ved takfot vil kunne være en ekstra risiko ved slukkearbeid. Dette unngås med den løsning som ble benyttet ved brannprøvingen, se figur 5.3.1.

Materiellrisiko

Dersom himlingen gjennombrennes fra undersiden som følge av en massiv brannpåkjenning etter overtenning, antas brannskadene på takkonstruksjonen over den brannutsatte seksjon eller branncelle å bli altomfattende uansett hvilken type isolasjon som benyttes. Brannspredning i isolasjonssjiktet til andre celler/ seksjoner kan hindres ved oppdeling av isolasjonen med felter av ubrennbar isolasjon.

Ved en lokal gjennombrenning av himlingen antas det at en brann i skumplastisolasjon (av «selvslukkende» eller «tungt antennelig» kvalitet) vil forbli av lokal art, men utbredelsen bestemmes av hvor stor brannkilden i rommet er. Ubrennbar isolasjon vil her uansett være gunstigere med hensyn til brannspredning. Med tanke på brannutbredelsen i rommet og i takflaten, vil det være en fordel å få rask gjennombrenning/ åpning i taket til friluft. Det antas at takkonstruksjoner med skumplastisolasjon vil åpne seg noe tidligere opp mot taktekningen enn dersom det benyttes mineralullisolasjon. Selve brannbelastningen som skumplastisolasjonen utgjør vil være i størrelsesorden 200 – 250 MJ/m² for en isolasjonstykkelse på 150 – 200 mm. Dette er omtrent den samme brannbelastningen som utgjøres av bjelker 45 x 195 mm med senteravstand 600 mm og overliggende 3,2 mm trefiberplate (som ble brukt i alternativet med mineralullisolasjon). Sløyfer og lekter av tre gir en brannbelastning på 40 – 50 MJ/m².

Brannspredningen under taktekningen går betydelig raskere med skumplastisolasjon enn med mineralull. Spredningshastigheten vil avhenge av skumplasttype og egenskapene til beskyttelsessjiktet (avrenningssjiktet) over isolasjonen. Mulighetene til å stoppe eller begrense en brann i hulrommet under tekningen er uansett mindre med skumplast enn med mineralull, hvilket er av betydning for de materielle skadene i tilfeller hvor det er reelle muligheter for å slukke før den aktuelle seksjon/ del av taket er totalskadd.

De brannforsøk som er utført viser at det er svært liten sannsynlighet for at brann i isolasjonen vil kunne gi gjennombrenning av den bærende himlingen fra oversiden. Med hensyn til materielle skader vurderes derfor en løsning med skrått isolert og luftet tretak med skumplastisolasjon å være en bedre løsning enn for eksempel en tradisjonell løsning med kaldt loft. En brann som pågår på «utsiden» av bygningen er lettere å kontrollere og slukke, og vil

gi mindre materielle brannskader. Dersom denne løsningen skal benyttes på høye bygninger må det tas hensyn til brannvesenets muligheter for å komme til på taket for å utføre slukkearbeid. Det bør antakelig kreves adkomst for stigebil inntil fasadene. Dette forutsettes vurdert i samråd med lokale myndigheter.

Fordi den bærende himlingen (og stort sett også den overliggende gipsplaten) var intakt under brannen og slukkingen, trengte slukkevatnet ikke ned gjennom taket. Dette er meget gunstig med hensyn til begrensnig av skadeomfanget. Det er ikke uvanlig at skadene på grunn av slukkevatn blir like store som selve brannskadene etter brann i en bygning.

6 Kostnadsvurderinger

Tabell 6.1 antyder orienterende entreprisekostnader for takkonstruksjon med utenpåliggende skumplastisolasjon og opplekket taksteinstekning, sammenliknet med tradisjonell takkonstruksjon med samme tekning (isolert og luftet skrått tretak med separat vindspærre og undertak og opplekket tekning, se figur 1.2.1). Tabellen angir materialene i takoppbyggingen sett innenfra og utover.

Det er forutsatt identisk bæresystem (inklusive sekundærbæring c/c 600 mm) for de to taktypene. Kostnader forbundet med selve bærekonstruksjonen er derfor holdt utenfor.

Takkonstruksjon med utenpåliggende skumplastisolasjon		Tradisjonell utførelse	
Materialsjikt	Kostnad (kr/m ²)	Materialsjikt	Kostnad (kr/m ²)
Himling av 15 mm innvendig trepanel (NS 3183)	215	Himling av 15 mm innvendig trepanel (NS 3183)	215
13 mm standard gipsplater	80	21 mm x 34 mm listverk (0,83 lm/m ²)	40
Dampspærre av asfalt takbelegg	45	Dampspærre av 0,2 mm polyetylenfolie	15
250 mm EPS (20 kg/m ³) (220 mm XPS)	140 (190)	270 mm mineralull	140
Avrenningssjikt (antatt pris som for asfalt takbelegg)	45	Vindspærre på rull	30
36 mm x 48 mm tresløyfer (1,66 lm/m ²)	45	48 mm x 48 mm oppforingslekter (1,66 lm/m ²)	35
Ca. 4,5 mm x 350 mm skruer m/ skive (3 stk pr m ²)	75	Undertak (eks 3,2 mm Huntonit Sutak)	65
30 mm x 48 mm trelekter (3,33 lm/m ²)	75	36 mm x 48 mm tresløyfer (1,66 lm/m ²)	45
Betongtakstein	100	30 mm x 48 mm trelekter (3,33 lm/m ²)	75
		Betongtakstein	100
Sum	820 (870)		760

Tabell 6.1

Orienterende sammenlikning mellom entreprisekostnader²⁴ forbundet med oppføring av takkonstruksjon med utenpåliggende skumplastisolasjon og tradisjonell utførelse med samme tekning

Takkonstruksjonen med skumplastisolasjon og dampspærre på oversiden av bærekonstruksjonen kan utføres til omtrent samme entreprisekostnad som for tilsvarende tradisjonell takløsning (ca. 8% dyrere enn tradisjonell løsning ved bruk av EPS, omtrent 14,5% dyrere ved bruk av XPS).

Prøveprosjektet vil avdekke hvorvidt tidsforbruk og utførelseseffektivitet ved oppføring av skrå tak med utenpåliggende skumplastisolasjon vil kunne innebære økonomiske gevinster med hensyn til totale kostnader.

Ved utførelse av takkonstruksjoner i bygninger med stor innvendig takhøyde, hvor all montering fra undersiden krever stillas, vil en kunne forvente reelle besparelser i tidsforbruk.

²⁴ Enhetsprisene omfatter alle kostnadsarter i henhold til NS 3420, eksklusive merverdiavgift og felleskostnader. Erfaringspriser er innhentet fra HolteProsjekt Innovation as og to rådgivende ingeniørfirmaer

Dette fordi det meste av arbeidet med taket utføres fra oversiden, noe som gjør montasjearbeidet både rasjonelt, effektivt og sikkert.

Orienterende økonomiske beregninger fra tidligere utførte prøveprosjekt (ombygging av eksisterende tak, [2]), viste at entreprisekostnadene for en takløsning med utenpåliggende ekstrudert polystyren (XPS) var ca. 12% dyrere enn en sammenliknbar konvensjonell takkonstruksjon (1995-kroner). Dersom prøvetaket hadde blitt utført med varmeisolasjon av *ekspandert* polystyren (EPS), ville kostnadsøkningen vært redusert til ca. 6%.

7 Innledende planlegging av pilotprosjekt

7.1 Prøveobjekt

For å styrke kunnskapen om spesielle forhold og detaljer knyttet til konstruksjonsprinsippet beskrevet i denne rapporten, er det nødvendig å gjennomføre minst ett pilotprosjekt på en ny bygning. Prøveobjektet bør være en bygning med store takflater (lengde fra raft til møne større enn 7 meter) og stor innvendig takhøyde. Avtale om gjennomføring av et slikt prosjekt er inngått med Forsvarets bygningstjeneste.

7.2 Kvantifiserbare parametre

Følgende forhold omtalt i denne rapporten vil bli forsøkt kvantifisert eller analysert ved gjennomføringen av fullskala pilotprosjekt, eventuelt ved tilleggsprøving:

- prinsipielle byggedetaljer
- luft- og dampetting i overgangen yttervegg/ tak
- prøving av ulike skruetyper og nødvendige innfestingsdybder
- teknisk gjennomførbarhet, materialbruk og montasjeteknikk (spesielt relatert til detaljer og tilslutninger)
- utførelseseffektivitet og tidsforbruk
- kostnader (relatert til konvensjonelle takkonstruksjoner)
- U-verdier for ulike konstruksjonsløsninger og –detaljer
- typer av bærende himlinger
- typer av avrenningssjikt og brannbeskyttelse over isolasjonen
- prefabrikkerte løsninger.

Branntekniske forhold som ønskes nærmere undersøkt er:

- brannutvikling over store takflater, 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 mv (eksisterende løsninger er primært angitt med tanke på ubrennbar underlag (betongdekker ol)).

Sistnevnte må belyses ved gjennomføring av storskala brannforsøk og/eller branntekniske beregninger.

7.3 Planlegging, prosjektering og utførelse

I planleggings- og prosjekteringsfasen vil NBI, i nært samarbeid med FBT og de kontraherte rådgivende ingeniører og arkitekter, styre arbeidet med utarbeidelse av detaljløsninger for takkonstruksjonen og overganger mot ytterveggskonstruksjonene. Detaljer og materialvalg må være avklart i løpet av detaljprosjekteringsfasen, og dermed innarbeidet i anbuds dokumentasjonen.

For å kunne tallfeste forhold vedrørende utførelseeffektivitet på byggeplass, er det nødvendig at bygningsarbeiderne på forhånd er grundig orientert om konstruksjonsprinsippet og spesielle forhold av betydning for utførelsen. Forventede rasjonaliseringsgevinster vil bli forsøkt tallfestet, sammenliknet med utførelse av tradisjonelle takkonstruksjoner. Spesielle forhold med hensyn til fremdrift og utførelse kommenteres og føres i dagbok av NBI eller byggeleder. Utførelsen dokumenteres fotografisk.

Konklusjon

Rapporten presenterer fortrinn og begrensninger knyttet til planlegging og prosjektering av et konstruksjonsprinsipp for skrå tak med utvendig nedløp, med varmeisolasjon av trykkfast skumplast og dampsperre i sin helhet plassert på oversiden av takets bærekonstruksjon. Konstruksjonsprinsippet klare fukttekniske fordeler er belyst, sett i forhold til tradisjonelle luftede skrå tretak med takisolasjonen plassert mellom sperrer og åser. Løsningen gir betydelig større sikkerhet mot byggskader enn konvensjonelle takkonstruksjoner. Utførte storskala brannforsøk viser også at konstruksjonsløsningen, med brennbar isolasjon, kan utføres brannteknisk akseptabel i henhold til kravene i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven. Løsningen er i tillegg konkurransedyktig med hensyn til kostnader, sammenliknet med tilsvarende tradisjonell takkonstruksjon.

Konstruksjonsprinsippet er først og fremst ment som en fuktsikker løsning for *store* isolerte og luftede skrå tak med stor innvendig takhøyde. Men, prinsippet kan også med fordel anvendes for mindre bygninger. Løsningen vil også være meget velegnet ved ombygging og rehabilitering av eldre takkonstruksjoner, spesielt ved innredning av kalde loft til oppvarmede rom.

Den beskrevne takkonstruksjonen kan benyttes for alle typer av takninger.

I forhold til de overordnede branntekniske krav som stilles i TEK er følgende dokumentert ved gjennomførte storskala brannforsøk:

- dersom det benyttes en «tungt antennelig» skumplastisolasjon som tildekkes på oversiden med en ubrennbar duk eller et platemateriale, vil brannutviklingen i takflaten være akseptabel og kontrollerbar for brannvesenet
- det er liten sannsynlighet for at brannen vil spre seg nedover gjennom bærende himling. Selv om en brann får utvikle seg fritt i takflaten er det totalt sett så lite brennbart materiale over himlingen at gjennombrenning ovenfra vurderes å ikke kunne skje i praksis
- det er liten fare for drypping av smeltet plast ved takfoten med den valgte løsning, hvor det legges en stripe med steinull langs raft
- det vil være trygt å bevege seg på taket under slukkingsarbeid
- svake punkter med hensyn til brannspredning/-smitte bør sikres spesielt. Dette betyr at skumplastisolasjonen erstattes med ubrennbar isolasjon ved branntekniske og gjennomføringer. En brann i takflaten vil da med påregnelig slukkeinnsats kunne kontrolleres og begrenses til den seksjon eller del av taket hvor brannen startet.

Studien har også avdekket en rekke tekniske detaljløsninger som ikke er tilstrekkelig avklart med hensyn til utforming og utførelse. Disse detaljene vil bli forsøkt løst ved planlegging og gjennomføring av fullskala pilotprosjekt. Gjennomføringen av et slikt prosjekt anses som nødvendig for å erverve tilstrekkelig kunnskap om det beskrevne konstruksjonsprinsippet som underlag for publisering av anvisninger i Byggforskseriens Byggdetaljer og Byggforvaltning. Spesielt gjelder dette avklaring av detaljløsninger. Det er også ønskelig med ytterligere brannteknisk dokumentasjon ved bruk av utenpåliggende skumplastisolasjon i luftede skrå tak. Før gjennomføring av prøveprosjekt vil det i tillegg være nødvendig med prøving av ulike innfestingsmetoder og -midler.

Referanser

- [1] Ingvaldsen, T., 1994:
Byggskadeomfanget i Norge. Utbedringskostnader i norsk bygge-/eiendomsbransje – og erfaringer fra andre land, Prosjektrapport 163, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [2] Ramstad, T.Ø., 1995:
Fuktsikre isolerte skrå tretak. Pilotprosjekt i Wergelandsveien 27, Oslo, NBI-rapport nr. N6640/ 2A, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [3] Juul, H., Bøhlerengen, T., 1990:
Ising på tak. En studie av et skadetilfelle, Prosjektrapport 68, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [4] Isaksen, T., Nielsen, A., 1988:
Isproblemer/ lekkasjer på tak over sykehus. Utbedringsforslag, NBI-rapport nr. N2344, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [5] Ramstad, T. Ø., 1993:
Prøving av festesystemer for utenpåliggende isolasjon til skrå tretak, intern arbeidsrapport, prosjekt nr. O6640, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [6] Noreng, K., 1995:
Dampsperrer i tak, Prosjektrapport 190, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [7] Askeland, A., 1992:
Dampsperrer, punktert av mekaniske festemidler. Måling av luftgjennomgang, Prosjektrapport 111, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [8] Blom, P., 1991:
Lufting av isolerte skrå tak, Prosjektrapport 84, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo (Revidert utgave av dr.ing.-avhandling fra Institutt for Husbyggingsteknikk, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, 1990)
- [9] Stenstad, V., 1997:
Brannforsøk med skumplastisolerte skrå tretak, NBI-rapport nr. O7663, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo

