

Forord

Denne masteroppgaven avslutter det toårige masterstudiet Integriert bygningsteknologi ved Universitetet i Tromsø, Campus Narvik (UiT). Masteroppgaven er utarbeidet i løpet av vårsemesteret 2016, og utgjør 30 studiepoeng.

Undertegnende var interessert i å fordype seg i bygningsfysikk, og tok dermed kontakt med Consto med tanke på et samarbeid om masteroppgaven. Dette resulterte i temaet for oppgaven som er interessant for begge parter. Rapporten har fått navnet «Fuktskader i kompakte tak» og søker å legge til rette for valg av løsninger og materialer for når man benytter seg av kompakte tak i byggeprosjekter.

Det rettes en stor takk til Intern veileder ved UiT, Svein-Erik Sveen, og ekstern veileder ved Consto, Torgeir Ingebrigtsen. Begge to har vært tilgjengelig gjennom hele semesteret, og bidratt med gode samtaler og innspill.

Avslutningsvis ønsker jeg å takke alle intervjuobjektene, Lars Johnsgård Jensen for gode innspill, og Karine Jonassen for gjennomlesing av oppgaven.

Narvik, 20.06.2016

Martin Jonassen Fjelde

Sammendrag

Fuktproblemer er et av de mest kompliserte områdene innenfor bygningsfysikken i dag. Med et økende fokus på tettere bygg, et klima i endring som vil gi temperaturøkning på ca. 4,5 °C, opptil 23 % mer nedbør og en fordobling i antall nedbørsdager i Norge innen år 2100, er fuktproblematikk et høyaktuelt tema. I Norge beløper de årlige kostnadene forbundet med utbedring av byggskader seg til ca. 4 % av de årlige investeringskostnadene ved nybygging, og 3/4 av dette er forårsaket av fuktpåvirkning.

I denne rapporten er det gjort vurderinger av materialvalg og løsninger når man bygger med kompakte tak. Det er også presentert typiske fuktskader i kompakte tak og utbedrende tiltak for disse. Kompakte tak er en takkonstruksjon hvor materialsjiktene ligger helt tett, uten lufting mellom isolasjon og taktekning. Skader i kompakte tak med prinsipielt riktig oppbygning, oppstår som regel i form av vannlekkasjer eller kondensproblemer. De mest typiske årsakene til fuktskader i kompakte tak er tette nedløp, hull i tekningen, ising, kondens og kompliserte detaljer.

I denne oppgaven er det benyttet litteraturstudie, intervjuer og casestudie som metoder. Intervjuene er gjort med fagpersoner innenfor entreprenørbransjen. Casestudien omhandler tre tilfeller med fuktproblematikk i takkonstruksjoner på et kjøpesenter i Tromsø.

Dampsperre av 0,2 mm PE-folie er den anbefalte typen dampsperre og er som regel tilstrekkelig i vanlige bygg. I bygninger med stor fuktbelastning, bør takfuktsperre benyttes. Asfalttakbelegg eller takfolie bør benyttes som taktekning i kompakte tak. Takfolie gir bedre uttørking ved diffusjon utover, mens asfalttakbelegg har bedre mekanisk styrke. Det anbefales å alltid benytte mørk taktekning. Skumglass, steinull, EPS og XPS er alle aktuelle isolasjonsmaterialer for kompakte tak. Parapet utføres med høyde på minst 200-300 mm og 1:5 fall innover. Oppkanter mot tilstøtende konstruksjoner skal være minst 150 mm. Gjennomføringer plasseres i høybrekkene og med en avstand på 300 mm fra andre oppbygg/gjennomføringer. Beslag utføres slik at det skjermer mot nedbør og monteres så snart som mulig for å hindre inntrenging av vann. Takkonstruksjonen bygges med fall på minimum 1:40 mot sluk og 1:60 i renner. Kompakte tak bør alltid utføres med innvendige nedløp, og lokal forsenking rundt sluk. I overgang mellom kompakte tak og sandwichelementer, må alle fuger i gjennomføringer og skjøter være både lufttette, regntette og damptette. Byggfukt må unngås i byggeperioden.

I casestudien er det gitt tre anbefalinger for videre tiltak vedrørende takkonstruksjonen til Teknisk rom 1: Ombygning av takkonstruksjonen, skape en uttørkingsmulighet ved gjennomstrømning av uteluft, og tette eventuelle luftlekkasjer i dampsperresjiktet. Det er i tillegg anbefalt å tekke med takfolie i en eventuell omtekning.

Abstract

Moisture problems are one of the most complicated areas in building physics today. With an increasing focus on tighter buildings, and a climate change that will provide a temperature increase of 4.5 ° C, up to 23% more precipitation, and a doubling in the number of precipitation days in Norway by 2100, is it safe to say that moisture issues are a hot topic. In Norway amounting annual costs associated with remediation of heavy damage to approximately 4% of the annual investment costs for new construction, and 3/4 of this is caused by the effects of moisture.

This thesis has made assessments of materials and solutions when building with compact roofs. It is also presented typical moisture damage in compact roofs and corrective action for these. Compact roof is a roof structure where the material layers are completely sealed without ventilation between the insulation and roofing. Damages in compact roofs with correct structure usually occurs in the form of water leaks or condensation problems. The most typical causes of moisture damage in compact roofs are clogged drains, holes in the membrane, icing, condensation and complicated details.

This thesis uses methods like literature review, interviews and case study. Professionals within the construction industry have done the interviews. The case study highlights three cases with moisture problems in roof structures at a mall in Tromsø.

Vapor barrier of 0.2 mm PE foil is the recommended type of vapor barrier and is generally sufficient in ordinary buildings. In buildings with high moisture stress, should vapor barriers with high vapor resistance be used. Bituminous or roofing membrane should be used as roofing in compact roofs. The membrane provides better drying by diffusion outwards, while bituminous has better mechanical strength. It is recommended to always use dark roofing. Foam glass, rock wool, EPS and XPS are all useable insulation materials for compact roofs. Parapet should have a minimum height of 200-300 mm and 1: 5 fall inwardly. Upstands against adjacent structures shall be at least 150 mm. Penetrations should be placed in the summits, and with a distance of 300 mm from the second superstructure / penetrations. Armaments must be placed so that it protects against rain and should be installed as soon as possible to prevent the ingress of water. The roof structure must be built with a slope of at least 1:40 to drains and 1:60 in runs. Compact ceiling should always be performed with internal drainage and local countersink around the drain. When building a transition between compact roofs to sandwich elements, is it important that all joints in penetrations and joints shall be airtight, rainproof and vapor-proof. Building in moisture must be avoided during the construction period.

In the case study, is it provided three recommendations for further action regarding the roof structure to Utility Room 1: Rebuilding the roof structure, creating a drying ability by supplying outdoor air, and seal any air leaks in the vapor barrier layer. It is also recommended to thatch roofing membrane in any reroofing projects.

Innhold

Forord	i
Sammendrag.....	ii
Abstract	iii
Forkortelser og definisjoner	viii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Om Consto AS	2
1.3 Formål og problemstilling	2
1.4 Avgrensninger	2
1.5 Leseveiledning.....	2
1.6 Metodebruk	4
2 Ytre påkjenninger.....	8
2.1 Klimaet i Norge.....	9
2.2 Klimaet i Tromsø	12
2.3 Klimaendring	14
2.4 Lokale konsekvenser av klimaendringer	16
3 Fuktmekanikk.....	17
3.1 Vanndampdiffusjon.....	17
3.2 Fuktkonveksjon	19
3.3 Fukttransport i væskefase.....	20
4 Kompakte tak	21
4.1 Hva er kompakte tak?	22
4.2 Rettvendte tak.....	22
4.3 Omvendte tak og duotak	24
4.4 Fabrikframstilte takelementer	25
5 Fuktskader i kompakte tak.....	26
5.1 Kompakte taks selvuttørkingsevne	30
5.2 Manglende fall	34
5.3 Hindret avrenning	35
5.4 Utvendig nedløp.....	36
5.5 Uheldige utforminger og vanskelige tekkedetaljer.....	37
5.6 Vannlekkasjer	38
5.7 Kondens og luftlekkasjer	39
5.8 Byggfukt	41
5.9 Råte i tretak.....	41
5.10 Entreprenørens erfaringer	42
6 Tiltak, valg av materialer og løsninger	43
6.1 Valg av dampspærre	44
6.2 Valg av Taktekking.....	47
6.3 Oppkanter, parapeter, gjennomføringer og beslag	51
6.4 Varmeisolasjon.....	53
6.5 Fallforhold og avrenning	54
6.6 Overgang mot sandwichelementer.....	56
7 Case: Jekta storsenter	63
7.1 Parkeringsdekke og takareal - Innvendige nedløp.....	65
7.2 Takkonstruksjon med overlys - Torg 13	68
7.3 Takkonstruksjon - Teknisk rom 1	71
8 Diskusjon	77
9 Oppsummering og Konklusjon.....	78

9.1 Videre arbeid.....	80
10 Referanser	81
11 Vedlegg.....	86

Figurer

Figur 1: Kløppens klimaklassifikasjon (Lisø and Kvande, 2007).....	9
Figur 2: Figuren viser årsmiddeltemperatur i Norge i dag. Dataene er målt fra 1956 til 2005 (Globalis, 2016).....	11
Figur 3: Figuren viser gjennomsnittlig nedbør i Norge i dag (mm/året). Dataene er hentet fra 1956 til 2005 (Globalis, 2016).....	11
Figur 4: Oversiktsbilde av Tromsø by (Tekna, 2016).	12
Figur 5: Månedsmiddeltemperaturer i Tromsø som graf, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).	13
Figur 6: Nedbørsmengder i Tromsø som graf, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).....	13
Figur 7: Figuren viser avvik fra den årlige globale middeltemperaturen fra 1880-2012 og den globale gjennomsnittlige temperaturen per tiår (Miljødirektoratet, 2014).	14
Figur 8: Observerte temperaturendringer i atmosfæren fra 1901-2012 (IPCC, 2013).....	15
Figur 9: Temperaturendringer målt i grader celsius registrert i Mars 2016 (NOAA, 2016). ...	15
Figur 10: Figuren viser forventet økt lufttemperatur og nedbør mot år 2100, hvor DJF står for vintermånedene des, jan og feb og JJA står for sommermånedene jun, jul, aug (IPCC, 2007b).	16
Figur 11: Prinsippskisse luftede tak (Isola, 2016)	21
Figur 12: Eksempler på rettvendte tak på bærekonstruksjon av stål (SINTEF, 2007a).	23
Figur 13: Rettvendt tak på bærekonstruksjon av betong (SINTEF, 2007a).	23
Figur 14: Rettvendt tak på bærekonstruksjon av tre (SINTEF, 2007a).	23
Figur 15: Eksempel på omvendt tak (SINTEF, 2007a).....	24
Figur 16: Eksempel på duotak (SINTEF, 2007a).	24
Figur 17: Eksempel på oppbygning av et takelement (SINTEF, 2007a).	25
Figur 18: Kakediagrammet viser fordelingen av skadekilder for prosessforårsakede byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).....	26
Figur 19: Kakediagrammet viser fordeling av skader etter bygningsdel forårsaket av prosessforårsakede byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).	27
Figur 20: Kakediagrammet viser prosessforårsakede byggskader i tilknytning til tak fordelt på type tak for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).	27
Figur 21: Vanlige skader og feil på skrå tak (SINTEF, 2010).....	28
Figur 22: Vanlige skader og feil på flate kompakte tak (SINTEF, 2010).....	28
Figur 23: Vandampdiffusjon gjennom taktekking, dampspærre og takkantene (Uvsløkk, 2008).....	32
Figur 24: Konveksjon ved luftgjennomstrømning fra ute til ute. Kan øke selvuttørkingsevnen til taket (Uvsløkk, 2008).....	32
Figur 25: Motstrømstak. Konveksjon ved gjennomstrømning fra utside til innside. Luften blir oppvarmet på veien gjennom isolasjonen og får derfor stor uttørkingsevnen (Uvsløkk, 2008).....	32
Figur 26: Konveksjon ved gjennomstrømning fra innside til utside. Kan øke selvuttørkingsevnen til taket. Risikoen for oppfukning av taket kan være stor i bygninger med normal eller mangelfull ventilasjon (Uvsløkk, 2008).	32
Figur 27: Konveksjon gjennom utettheter i gesims. Luftveksling med uteluft gjennom gesims med luftpermeabelt materiale kan øke selvuttørkingsevnen til taket (Uvsløkk, 2008).....	32

Figur 28: Eksempel på tak med manglende fall som fører til stående vanddammer som øker påkjenningen på tekningen (SINTEF, 2012).....	34
Figur 29: Eksempel på tak med for lite fall mot sluk og hindringer, som fører til vanddammer (SINTEF, 2012).	34
Figur 30: Eksempel på tak der feilplassert sluk i forhold til gjennomføringer i taket gjør at vanddammer oppstår rundt gjennomføringene (SINTEF, 2012).....	35
Figur 31: Eksempel på betongplate støpt direkte på tekningen som hindrer effektiv avrenning og vanskeligjør framtidig omteking (SINTEF, 2012).....	35
Figur 32: Eksempler på problemer med utvendig nedløp på kompakte tak (SINTEF, 2012). .	36
Figur 33: Eksempel på uheldig utforming av taket hvor gjennomføringer er plassert nært hverandre (SINTEF, 2012).....	37
Figur 34: Eksempel der is har lagt seg rundt gjennomføringen i høyde med takfoliens oppbrett og fører til fare for lekkasje ved at limforbindelsen svikter. Ved høyere fall og oppbrett ville risikoen for lekkasje ha minsket betydelig (SINTEF, 2012).	38
Figur 35: Eksempel på kondens i en oppbygd vegg på grunn av luftlekkasje i bunnprofil (SINTEF, 2012).	39
Figur 36: Eksempel på gjennomføring i bærende stålplater med utett dampsperre (SINTEF, 2012).....	40
Figur 37: Eksempel på luftlekkasje som fører til kondens i overgang mellom element og brystning i et fabrikkframstilt takelement (SINTEF, 2012).	40
Figur 38: Eksempel på kompakte tak med treverk mellom to damprette sjikt hvor hele takbjelkehøyden er plassert mellom sjiktene (a) og synlige takbjelker som øker faren for luftlekkasjer innenfra som kan føre til kondens (b) (SINTEF, 2012).	41
Figur 39: Figuren viser to veier man kan gå når type dampsperre og utførelse skal velges (Noreng, 1995).....	45
Figur 40: Illustrasjonsbilde av asfalt takbelegg (icopal, 2015).....	48
Figur 41: Illustrasjonsbilde av taktekking med takfolie (Protan, 2016).....	49
Figur 42: Figuren viser eksempel på utførelse av beslag, avslutning av taktekking med oppkant, dampsperre og bruk av brennbar isolasjon (SINTEF, 2007a).....	51
Figur 43: Figuren viser eksempel på utførelse av beslag, avslutning av taktekking, dampsperre og bruk av brennbar isolasjon (SINTEF, 2007a).	51
Figur 44: Bruk av prefabrikkert mansjett for tetting av rørgjennomføringer (SINTEF, 2008). 52	
Figur 45: eksempel på tett sluk som fører til store vannsamlinger på tak. Et overløp vil raskere synliggjøre problemet (SINTEF, 2012).	54
Figur 46: Eksempel på firesidig fall mot sluk der alle gjennomføringer er plassert i høybrekkene (SINTEF, 2007a).	55
Figur 47: Eksempel på et pulttak og et buetak som begge har innvendige nedløp (SINTEF, 2007a).....	55
Figur 48: Bildet viser ufullstendig sprang og skjøter mellom elementene (Noreng, 2015). ...	57
Figur 49: Bildet viser en stor spalt ved sammenføring i et ytterhjørne (Noreng, 2015).....	57
Figur 50: Bildet viser stor spalt mellom to elementer som heller ikke er tildekket mot fuktinntrengning (Noreng, 2015).	58
Figur 51: Bildet viser parapeten sett ovenfra med bærende stålprofil (Noreng, 2015).	58
Figur 52: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelement og plassbygd, isolert stålplattetak (Noreng, 2015).....	60
Figur 53: Forslag til løsning på overgang mellom fasade av sandwichelement og kompakt tak på betongelementer (Noreng, 2015).	61
Figur 54: Forslag til løsning på overgang mellom fasade av sandwichelementer og takelementer (Noreng, 2015).....	62
Figur 55: Illustrasjonsbilde av jekta storsenter (Barlindhaug, 2016).....	63
Figur 56: Nybygget av Jekta storsenter sett ovenfra (Google, 2016).....	63

Figur 57: Tradisjonell oppbygning av et isolert omvendt tak for biltrafikk og parkering (SINTEF, 1999).	65
Figur 58: Nedløp er ikke tett skikkelig mot første tekking (Foto: Consto, 2015)	65
Figur 59: Vannlås montert på rør til nedløp (Foto: Privat, 2015).....	66
Figur 60: Rør for lufting av takkonstruksjonen ved sluk (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016)	67
Figur 61: Bilde av torg 13 etter tiltak er gjort (Foto: Martin Jonassen Fjelde)	68
Figur 62: Tradisjonell oppbygning av kompakt tak på bærende stålplater (SINTEF, 2007a) . .	68
Figur 63: Illustrasjonsbilde av utett tilslutning av dampspærre mot fasadeelement fører til luftlekkasje og kondens (SINTEF, 2012).....	69
Figur 64: Skisse som illustrerer festing av dampspærre mot parocement (Skissert av Martin Jonassen Fjelde).....	69
Figur 65: Skissen illustrerer detaljløsning for beslag og lufting mot takoppbygg ved overlys (skissert av Martin Jonassen Fjelde).....	70
Figur 66: Teknisk rom 2 (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016).....	71
Figur 67: Overgang mellom kompakt tak og sandwichelement hvor det er blitt observert fukt (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016)	72
Figur 68: Innsiden av fasade i teknisk rom 1 hvor vann har blitt observert rennende nedover (Foto: Martin Jonassen Fjelde)	72
Figur 69: Luftgjennomstrømning i taket fra ute til ute (Uvsløkk, 2008).....	74
Figur 70: Illustrasjonsbilde av kanaler i isolasjonssjiktet (PAROC, 2016b)	74
Figur 71: Illustrasjonsbilde av gjennomstrømning av uteluft ved hjelp av kanaler i isolasjonssjiktet og luftelyrer (PAROC, 2016c)	75
Figur 72: Eksempel på utforming av takkonstruksjon gjennomstrømning av uteluft (Noreng and Uvsløkk, 2010)	75

Tabeller

Tabell 1: Viser en oversikt over aktuelle forskningsmetoder for akademiske oppgaver (Olsson and Sörensen, 2003, Olsson, 2011)	4
Tabell 2: Månedsmiddeltemperaturer (°C) for Tromsø, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016)	13
Tabell 3: Gjennomsnittlig nedbørsmengder (mm) i Tromsø, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).....	13
Tabell 4: Tabellen viser en oversikt av forskjellige taktyper.	21
Tabell 5: Mulige problemer i forhold til fuktinnhold i kompakte tak (Lisø and Kvande, 2007).	31
Tabell 6: Vanndampmotstand for noen dampspærretyper (SINTEF, 2003a).....	44

Forkortelser og definisjoner

Forkortelser/Ord	Definisjon
Bygningsdel	Fysisk del av en bygning eller annet byggverk, vanligvis sammensatt av flere delprodukter (NS-3451:2009)
EPS	Ekspandert polystyren
FN	De Forente Nasjoner
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Isoterm	Konstant temperatur
Kapillærsuging	Transport av vann i et porøst, kapillæraktivt materiale som er i kontakt med vann (Geving and Thue, 2002)
Klimapådriv	Et mål på klimaeffekt som angir hvor mye energibalansen har endret seg siden en situasjon uten menneskeskapte utslipp (Hjorthol, 2015)
Klimaskjerm	Primære bygningsdeler som beskytter oppvarmet del av bruksareal mot utvendig klima (NS-3031:2014)
Kuldebro	En del av en omsluttende konstruksjon der den ellers ensartede varmemotstanden endres betydelig (Gustavsen et al., 2008)
Kvantitativ	Angår mengde eller omfang (snl, 2009a)
Kvalitativ	Angår kvalitet (snl, 2009a)
Laminær strøm	Strøm av gass eller væske uten at det dannes virvl (UiO, 2011)
Middeltemperatur	Gjennomsnittlig temperatur på et gitt sted over en gitt periode
Månedsmiddeltemperatur	Middeltemperatur i løpet av en måned
Netto energibehov	Bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden (NS-3031:2014)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
Partialtrykk	Det trykk hver enkel gass i en gassblanding utøver (snl, 2009b)
PE-folie	Polyetylenfolie
Porevannsundertrykk	Forskjellen mellom trykk i porevannet og omgivelsenes totaltrykk (Geving and Thue, 2002)
Prosessforårsaket byggskaide	Skade på bygg som skyldes at det under utredning, prosjektering, produksjon eller materialvirkning ikke har lyktes en aktør å følge normert, standardisert, anerkjent metode eller konkrete spesifikasjoner (SINTEF, 2010)
PVC	Polyvinylklorid
sd – verdi	Ekvivalent luftlagstykkelse
TPF	Takprodusentenes forskningsgruppe
Trykkfasthet	Et materiales evne til å motstå trykkbelastning (snl, 2009c)
UV-stråling	Ultrafiolett stråling
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient

Vanndampmotstand	Uttrykker motstanden i et materialsjikt mot gjennomtrengning av vanndamp på grunn av forskjell i vanndamptrykk over materialsjiktet (Geving and Thue, 2002)
Årsmiddeltemperatur	Middeltemperatur i løpet av et år
XPS	Ekstrudert polystyren

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Forskjellige undersøkelser viser at mellom 60 og 80% av skader som opptrer på bygg skyldes fukt eller følgevirkninger av fukt. Grunnleggende årsaker til dette er: Mangel på kunnskap, dårlig anvendelse av tilgjengelig kunnskap, ukritisk bruk av nye materialer, kostnads- eller tidspress, produktivitetspress, både på bedrift og enkeltperson, utilstrekkelig kvalitetskontroll og økt fuktproduksjon (Thue, 2014).

Med mange ulike fuktkilder og forskjellige transportprosesser, er fuktproblemer en av de mest kompliserte områdene innenfor bygebransjen i dag. Til tross for både nasjonal og internasjonal forskning på fukt i bygningsssammenheng, er det ennå ikke vanlig å prosjektere med hensyn på fuktpåkjenninger i samme grad som for eksempel mekaniske påkjenninger (Thue, 2014).

Byggeforskriften setter følgende krav om fukt (§ 13-14): «Grunnvann, overvann, nedbør, bruksvann og luftfuktighet skal ikke trenge inn og gi fuktskader, mugg- og soppdannelse eller andre hygieniske problemer.» I tillegg sier byggeforskriften følgende om byggfukt (§ 13-19): «Materialer og konstruksjoner skal være så tørre ved innbygging/forsegling at det ikke oppstår problemer med mugg- og soppdannelse, nedbrytning av organiske materialer eller økt avgassing» (TEK10, 2016).

Det at det ikke finnes noen veletablert dimensjoneringsmetodikk om fuktpåkjenninger, gjør det umulig for byggeforskriften å sette tallfestede krav. Derfor er kravene om fukt i byggeforskriften i hovedsak utformet som rene funksjonskrav som skal sikre mot helseplager og byggskader (Thue, 2014).

Med et økende krav om tettere bygg, kan enkelte bygningsdeler være en utfordring med tanke på å unngå fuktproblemer eller fremtidige følgevirkninger av fukt i konstruksjonen. Å bli kvitt alle feil og skader i byggenæringen er en urealistisk målsetning, men en reduksjon av omfanget med skader og mangler er en mulighet med en forebyggende innsats fra alle aktører.

Ifølge FNs femte hovedrapport fra 2013 (IPCC, 2013) er klimaendringer en realitet og det vil bli både varmere, mer nedbør og hyppigere stormer i fremtiden. Dette vil si at fremtidens bygninger må tåle enda mer fuktpåkjenninger enn hva som er tilfellet i dag. Klimaendringer kan være en ekstra utfordring i en byggevirksomhet hvor fukt allerede er den største grunnen til skader på bygg.

Consto AS bruker store kostnader på å rette opp fuktskader i bygningsdelen kompakte tak, og ønsker derfor kunnskap om hvordan begrense kostnader som følge av uheldige løsninger i denne bygningsdelen. Typiske skader for kompakte tak med prinsipielt riktig oppbygning, er som regel vannlekkasjer fra nedbør eller fuktskader på grunn av kondens.

1.2 Om Consto AS

Consto AS er et landsdekkende nordnorsk entreprenørkonsern med 540 ansatte og en årlig omsetning på 2,5 milliarder kroner. Selskapet ble etablert i Tromsø i 2006 og er et datterselskap til Barlindhaug AS. Consto har hovedkontor i Tromsø, men holder til i flere byer over hele landet (Consto, 2016).

1.3 Formål og problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å utføre en rapport, der det utredes hvilke utfordringer kompakte tak kan gi, og hvordan best unngå uheldige løsninger, samt hvilke tiltak som kan gjøres for å utbedre problemer.

En viktig del av oppgaven blir å redegjøre for hvilke materialer som bør benyttes for kompakte tak, spesielle særtrekk i oppbygning/konstruksjon og å redegjøre for vanlige feil og mangler i denne bygningsdelen.

Oppgave skal omfatte:

- Valg av materialer
- Valg av løsninger
- Utfordringer ved kompakte tak mht. vann- og kondensproblemer

1.4 Avgrensninger

Arbeidet i oppgaven er begrenset til det som inngår i punktene nevnt ovenfor. Oppgaven begrenses til kompakte tak. Casestudier begrenser seg til minimum en aktuelt case. Økonomiske konsekvenser er ikke tatt med i denne oppgaven selv om det var opprinnelig planlagt å ha dette med. Grunnen til dette er manglende informasjon om kostnader rundt dette emnet, og begrenset tid i forhold til andre problemstillinger. Fokuset ble derfor rettet bort fra økonomiske betraktninger og rettet mot tiltak for utbedring av fuktskader i kompakte tak.

1.5 Leseveiledning

Oppgaven er bygget opp rundt formål og problemstilling i kapittel 1.3, og danner grunnlaget for teori, metodebruk, tiltak, valg av materialer og løsninger, casestudie og diskusjoner. Rapporten er delt opp i 9 kapitler, hvor kapittel 2-5 presenterer bakgrunnsteori for oppgaven.

I kapittel 2 presenteres klima som en ytre påkjenning for klimaskjermen. Det er blitt fokusert på klimaet i Norge og Tromsø spesielt, samt fremtidige klimaendringer siden klima i form av nedbør er en stor påkjenning for fuktskader i bygningsdeler. I kapittel 3 beskrives fukttransport ved diffusjon og konveksjon og hvordan disse mekanismene fungerer i materialer. Kapittel 4 presenterer kompakte tak og ulike typer kompakte tak. I kapittel 5 presenteres typiske fuktskader som oppstår i kompakte tak, og årsaken til disse. Underkapittelet 5.10, Entreprenørens erfaringer, er et sammendrag av intervjuene som ble utført og informasjonen som kom ifra disse.

Kapittel 6 presenterer anbefalte løsninger og valg av materialer for kompakte tak. I dette kapittelet er også tiltak mot skader som er beskrevet i kapittel 5 presentert.

Kapittel 7 omhandler casen om Jekta storsenter. I dette kapitlet blir casen presentert med problemer, utførte tiltak og mulige videre tiltak.

Kapittel 8 presenterer diskusjon. Diskusjonen er strukturert rundt formål og problemstilling, og det trekkes relevante linjer mellom entreprenørens erfaringer, casestudie og teori.

Kapittel 9 består av både konklusjon, oppsummering og videre arbeid. Konklusjonen er basert på oppgavens problemstilling og trekker ut nøkkelinformasjon og anbefalinger som er gitt i hele rapporten. Kapitlet avsluttes med en anbefaling for videre arbeid.

Hele oppgaven er nødvendigvis ikke relevant for alle lesere og dermed er det satt opp en anbefalt liste for lesing avhengig av interesse og tidsbruk. Listen er rangert fra rask gjennomgang til fullstendig lesing av hele rapporten:

1. Sammendrag og konklusjon
2. Sammendrag, Kapittel 6 og konklusjon
3. Hele rapporten, unntatt kapittel 2, 3 og 4
4. Hele rapporten
5. Hele rapporten og vedlegg

Kompliserte tabeller og anbefalte løsninger i «steg for steg» - format, er trukket ut i vedlegg for å øke lesbarheten til rapporten. Denne informasjonen kan likevel være relevant for de som ønsker å arbeide videre med oppgaven og de som ønsker detaljert informasjon.

1.6 Metodebruk

Metodebeskrivelse skaper en bevissthet rundt metodespørsmål ved å gi en kvalitetssikring av eget arbeid. En metodebeskrivelse gir også leserne et grunnlag for konklusjonen, en mulighet for andre å kunne videreføre arbeidet, samt å gi en vitenskapelig skoloring (Olsson, 2011).

Metoder deles gjerne opp i to retninger: Kvantitativt orientert og kvalitativt orientert (Dalland, 2012). Kvantitative metoder tar utgangspunkt i tall og det som er målbart, mens kvalitative metoder er basert på muntlig eller tekstlig informasjon (Olsson, 2011). De kvantitative metodene har den fordel at den gir data i form av målbare enheter og dermed gir beskrivelsen høyere presisjon. De kvalitative metodene tar mer sikte på å fange opp opplevelser og meninger som ikke lar seg tallfeste eller måle, og dermed hjelper til å beskrive helheten (Dalland, 2012, Samset, 2008).

Det er ikke uvanlig å kombinere kvantitative og kvalitative metoder ettersom de utfyller hverandre. Kvalitative metoder kan bidra til forstå meningen med tallene fra kvantitative metoder, og på samme måte kan kvantitative metoder være med på å underbygge resultater fra kvalitative metoder (Olsson, 2011).

Tabell 1 viser en oversikt over noen forskningsmetoder som er aktuelle for akademiske oppgaver (Olsson and Sørensen, 2003, Olsson, 2011).

Metode	Beskrivelse
Litteraturstudie	Bruk av eksisterende data fra systemer, litteratur, rapporter og lignende.
Intervjuer	Intervju med nøkkelpersoner som besitter kunnskap tilknyttet problemstillingen.
Deltagende observasjoner	Observasjoner av arbeidsplass over tid.
Direkte observasjon/måling	Direkte innhenting av data ved måling ved hjelp av instrumenter eller direkte observasjon.
Spørreundersøkelser	Et antall spørsmål som sendes til et utvalg av personer for å undersøke meninger, kunnskapsnivå og lignende.
Casestudier	Undersøkelse av et studieobjekt eller et fåtall utvalgte studieobjekter basert på flere ulike datakilder.

Tabell 1: Viser en oversikt over aktuelle forskningsmetoder for akademiske oppgaver (Olsson and Sørensen, 2003, Olsson, 2011).

I denne oppgaven er det benyttet litteraturstudie, intervjuer og casestudie som metoder.

1.6.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en nødvendig del av et vitenskapelig arbeid. En litteraturundersøkelse skal gi opplysninger om hva som tidligere er gjort med problemet av interesse og kartlegge hvilket grunnlag en kan bygge videre fra. Et litteraturstudie vil også forhindre at unødig dobbeltarbeid blir gjort (Mørch, 2010).

Det ble gjennomført et omfattende litteraturstudie i denne oppgaven. Innhenting av informasjon ble utført ved hjelp av databaser og søkemotorer på internett, samt litteratur fra biblioteket ved UiT. En viktig del av litteratursøket er valg av databaser og søkemotorer som er avgjørende for hvilken informasjon man vil finne (VIKO, 2016). I denne oppgave ble følgende databaser og søkemotorer benyttet:

- Google
- Google Scholar
- BIBSYS Ask
- Ressurssider på internett som bks.byggforsk.no, dibk.no, globalis.no, met.no og lignende

For å samle inn mest mulig relevant informasjon om problemstillingen ble søkeprosessen utført på følgende måte:

1. Definisjon av problemstilling
2. Valg av søkeord
3. Avgrensninger
4. Filtrere søketreff gjennom tittel og eventuelt sammendrag
5. Kildekritikk

Søkeordene ble ofte endret med tiden ettersom oppgaven ble klarere og stegene i søkeprosessen ble gjentatt flere ganger under arbeidet med oppgaven.

Selv om det er hentet litteratur også fra internasjonale fagmiljøer, er det benyttet mest litteratur fra norske fagmiljøer i denne oppgaven. Grunnen til dette er at problemstillingen i oppgaven er direkte knyttet opp til norske forhold i form av ytre påkjenninger. Siden det norske fagmiljøet har flere anerkjente aktører som jobber rundt samme tema, var norsk litteratur som omhandlet problemstillingen meget tilgjengelig. Litteratur fra det internasjonale fagmiljøet ble i hovedsak benyttet til å supplere den norske litteraturen der dette var nødvendig.

Det er viktig å gjennomføre en kritisk vurdering til kildene som brukes. Troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet er kriterier litteraturen fra kilder bør vurderes opp mot (VIKO, 2016). I denne oppgaven er disse kriteriene brukt for å vurdere informasjonen som ble hentet inn.

1.6.2 Intervjuer

Brinkmann og Tangaard (2012) beskriver intervjuet som den mest utbredte tilnærmingen til kvalitativ forskning, og den viktigste empiriske metoden på noen fagområder. Ved å bruke intervju som metode, får man et innblikk i subjektive meninger fra intervjuobjektet (Brinkmann and Tangaard, 2012).

Ved oppstartsmøte i Tromsø med ekstern veileder, ble det konkludert at å intervju noen fagpersoner med både praktisk og teoretisk erfaring om og rundt det aktuelle emnet, var en god metode for innhenting av informasjon. Under oppstartsmøte ble det også laget en liste for hvilke nøkkelpersoner som var aktuelle å gjøre et intervju med, for å få mest mulig ut av hvert intervju. I tillegg til intervjuene er det blitt utført flere uoffisielle samtaler med ansatte i Consto AS, for diskusjon av det aktuelle temaet og problemstillinger som dukket opp. I denne oppgaven er det utført totalt tre intervjuer med tre forskjellige intervjuobjekter. Alle tre intervjuobjektene er funksjonær og ansatt i entreprenørbransjen.

I arbeidet før intervjuene ble det utarbeidet en intervjuguide. Intervjuguiden ble laget med den hensikt å sette rammer for hva intervjuet skulle handle om, og som et fungerende hjelpemiddel under selve intervjuet om nødvendig. Det ble laget to forskjellige intervjuguides for denne oppgaven. Intervju 1 og 2 delte samme intervjuguide som fokuserer på generelle spørsmål om temaet for oppgaven. Intervju 3 skulle handle mer om casestudiet. Derfor ble det gjort endringer og redigeringer av intervjuguiden i arbeidet før intervju 3 ble utført.

Intervju 1 og 2 ble utført i løpet av en uke i Tromsø på intervjuobjektens arbeidsplass. Intervju 3 ble utført i løpet av en morgen i Narvik på intervjuobjektets arbeidsplass. Siden entreprenørbransjen er en travel virksomhet, ble tidsrammen for alle intervjuene satt til 30 minutt. Alle tre intervjuene overgikk denne tidsrammen, men under intervjuobjektens egen kontroll. Tidspunkt og sted for intervjuene ble avtalt via tidligere møter, telefon og mail. Intervjuobjektene fikk vite på forhånd hvilket tema som skulle diskuteres. Alle intervjuene ble gjennomført mer som en dialog mellom intervjuer og intervjuobjekt enn spørsmål og ja/nei svar. Dermed ble intervjuguiden sjeldent benyttet helt slavisk, men bare hvis diskusjonene var på vei ut av rammene som var satt på forhånd.

Alle intervjuene førte til nyttig informasjon og utveksling av meninger, og intervjuene ble derfor en viktig del av hvordan denne oppgaven utviklet seg. Intervjuene står som et sammendrag under kapittel 5.10 «Entreprenørens erfaringer».

1.6.3 Casestudie

En casestudie beskrives som en studie som begrenser seg til en analyseenhet. Casestudier er som oftest basert på en kvalitativ tilnærming, men kan også kombinere kvalitative og kvantitative data (Grønmo, 2016).

I samtaler med intern veileder ved prosjektoppstart, ble det diskutert at en casestudie kunne være en nyttig metode for det aktuelle emnet. I det tidligere nevnte oppstartsmøte med ekstern veileder ble det konkludert at Jekta storsenter var en aktuell kandidat til en casestudie siden oppdragsgiver også kunne ha nytte av en slik casestudie. Dermed ble det avtalt å gjøre en befaring av Jekta storsenter i Tromsø.

I arbeidet før befaringsen ble det holdt samtaler om aktuelle problemområder og gjort litteraturstudie om disse. Befaringen ble utført ved et senere tidspunkt i kombinasjon med et statusmøte. Befaringen varte i tre timer og ble utført sammen med tre personer ansatt hos oppdragsgiver. Under befaringsen ble det tatt bilder, pekt ut problemområder, samt diskutert tiltak og løsninger. Siden entreprenørbransjen er en travel virksomhet, ble tidspunktet til befaringsen bestemt av oppdragsgiver for når det passet best med hensyn på tid og kalender.

Formålet med casen var å se på problemområder i praksis og koble dette opp mot teori og legge til rette for tiltak og mulige løsninger. Casen er utført som en begrenset case hvor det er tilrettelagt for tiltak som er blitt gjort, og hvilke tiltak som er mulig å gjøre videre for å utbedre takkonstruksjonene. I arbeidet med casen ble intervjuer og litteraturstudie brukt som hjelpemidler.

2 Ytre påkjenninger

I Norge er klimaet svært variert og det fører til omfattende skader på det bygde miljø hvert år. De lokale klimafaktorene påvirker levetiden til materialer og konstruksjoner i stor grad. Med det store utvalget av materialer og systemløsninger på markedet, illustrerer omfanget av byggskader i Norge et klart behov for klarere kriterier og bedre anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer knyttet til bygningers ytre klimaskjerm (Lisø and Kvande, 2007).

SINTEF Byggforsk har gjort en omfattende analyse av empiriske data for å belyse sårbarheten til ulike typer materialer og konstruksjoner under varierende klimaeksponering knyttet til gransking av prosessforårsakede byggskader. Resultatene viser at (SINTEF, 2010):

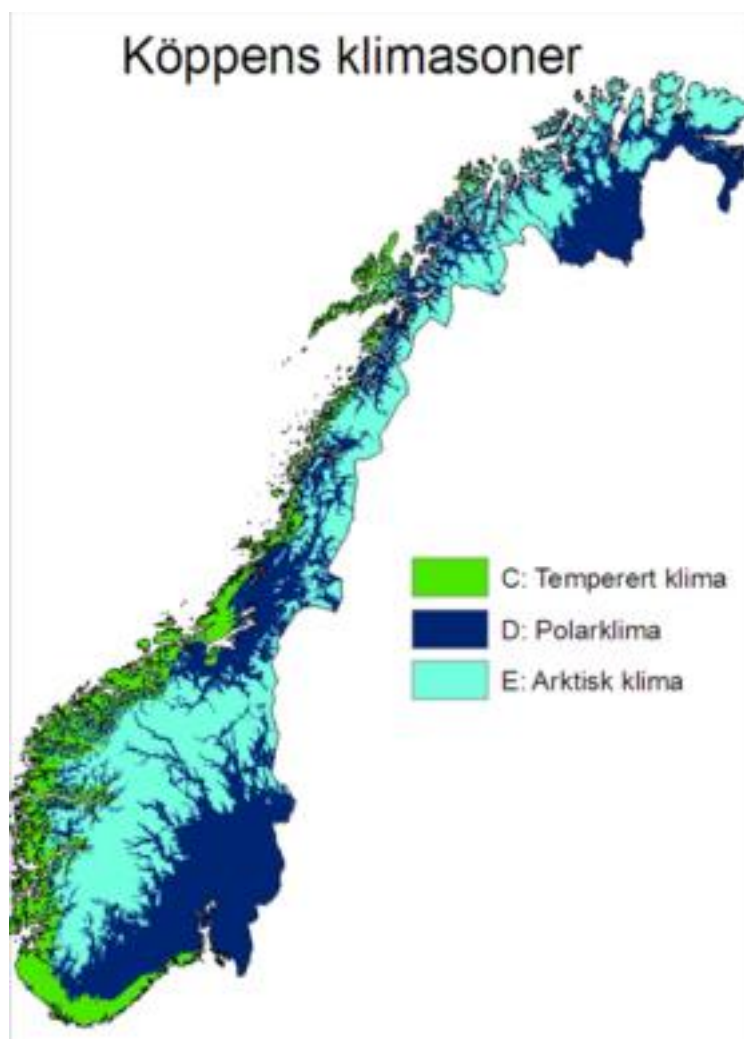
- 3/4 av skadene skyldes fuktpåvirkning.
- 2/3 av skadene opptrer i tilknytting til bygningens klimaskjerm.
- 1/4 av skadene skyldes nedbør alene.
- 1/3 av skadene i tilknytning til yttervegger over terreng skyldes nedbør alene.
- 1/2 av skadene i tilknytning til tak og terrasser skyldes nedbør alene.

Klimaendringer vil ytterligere forsterke klimapåkjenningene til bygninger og annen infrastruktur i fremtiden, og da spesielt ved fuktpåkjenninger. Allerede nå er det hensiktsmessig å ta hensyn til den økte klimabelastningen for å opprettholde den forventede levetiden på nybygg. Undersøkelser viser at fuktskader er området som behøver sterkest fokus, også under et nytt klimaregime. Fuktpåkjenninger gir både i dag og i fremtiden de største utfordringer med mer nedbør og høyere temperaturer (Lisø and Kvande, 2007).

2.1 Klimaet i Norge

Med "klimaet" mener vi en langsiktig værtpåkjening definert av luftas middeltemperatur og årlig nedbørsmengde for et gitt sted eller område (Thue, 2014). Klimaet blir typisk delt opp i fem hovedgrupper: Tropisk, tørt, temperert, polar og arktisk (se Vedlegg B – Inndeling av klimasoner).

I Norge er det temperert klima langs kysten, som er preget av vind og nedbør. Polarklima i lavereliggende strøk i innlandet er tørt og kjølig. Og arktisk klima i høyereliggende strøk og fjellet i innlandet er tørt og kaldt (se Figur 1).

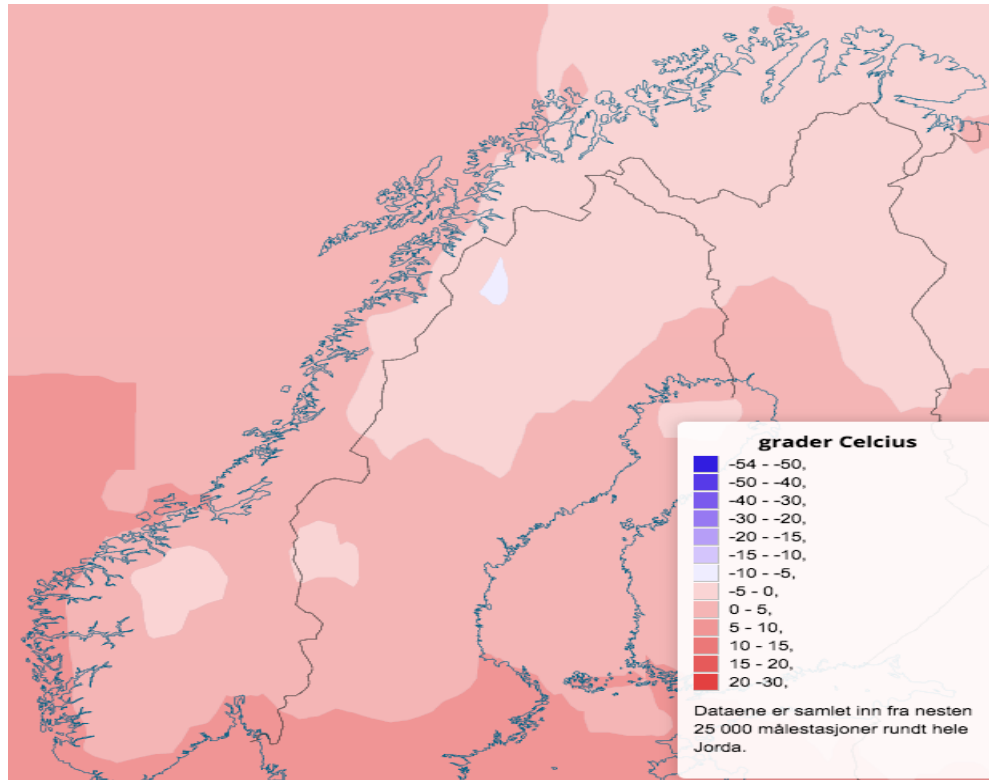


Figur 1: Köppens klimaklassifikasjon (Lisø and Kvande, 2007).

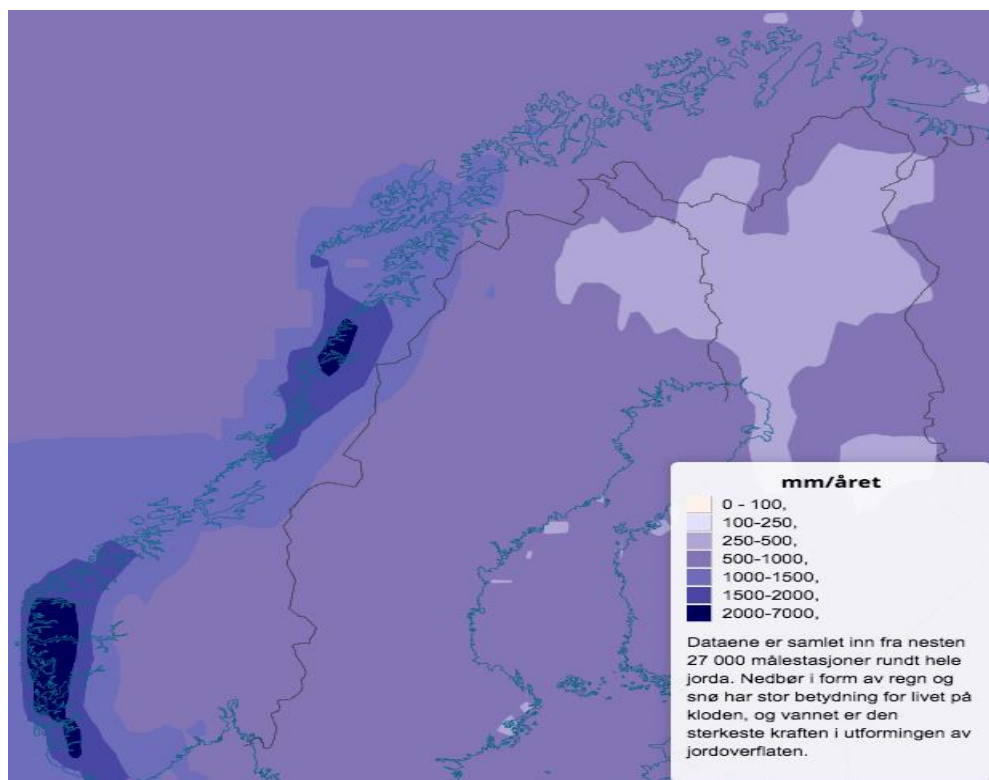
Klimaet i Norge er, som visst i Figur 1, ekstremt variert, og landets lange kystlinje og en topografi med høye fjell og dype daler fører til store lokale forskjeller i temperatur, nedbør og vindstyrke over korte avstander. Norge opplever også ekstreme årstidsvariasjoner, hvor desember, januar og februar er de typiske vintermånedene, mens juni, juli og august er de typiske sommermånedene (Lisø and Kvande, 2007).

Fra Lindesnes, det sørligste punktet, til Nordkapp, det nordligste punktet, er det et spenn på hele 13 breddegrader, noe som tilsvarer et spenn fra Lindesnes til Middelhavet. Men på grunn av Golfstrømmen, som strømmer langs kysten av Norge, og en dominerende vestlig luftstrøm fra at Atlanterhavet, har Norge et mye vennligere klima enn breddegraden tilsier (Lisø and Kvande, 2007).

De høyeste årsmiddeltemperaturene finner vi ved kysten sør og vest i landet (7 - 9°C), mens de laveste verdiene finner vi på Finnmarksvidda og fjellstrøk i Sør-Norge (-5°C). I Nord-Norge ligger gjerne middeltemperaturen om sommeren 5 - 6°C lavere enn i Sør-Norge (se Figur 2). Vestlandet opplever mest nedbør hvor flere steder har årsnedbør > 3000 mm, noe som er blant de største mengdene i Europa. På Finnmarksvidda og i indre strøk av Østlandet finner vi de tørreste strøkene (se Figur 3) (Thue, 2014).



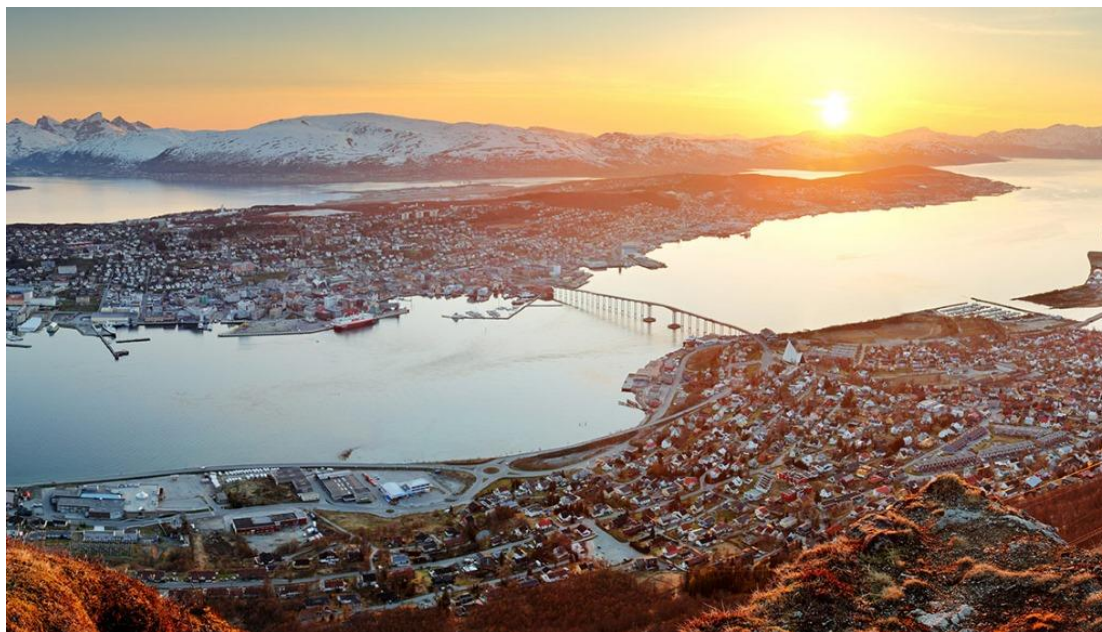
Figur 2: Figuren viser årsmiddeltemperatur i Norge i dag. Dataene er målt fra 1956 til 2005 (Globalis, 2016).



Figur 3: Figuren viser gjennomsnittlig nedbør i Norge i dag (mm/året). Dataene er hentet fra 1956 til 2005 (Globalis, 2016).

2.2 Klimaet i Tromsø

Tromsø kommune ligger i Troms fylke som er det nest nordligste fylket i Norge. Tromsø har (per 01. januar 2016) 73 480 innbyggere (ssb, 2016) og er med det Nord-Norges største by. Tromsø ligger nord for polarsirkelen og nyter derfor midnattssol i perioden 20. mai – 22. juli og mørketid i perioden 27. november – 15. januar (UiT, 2016).



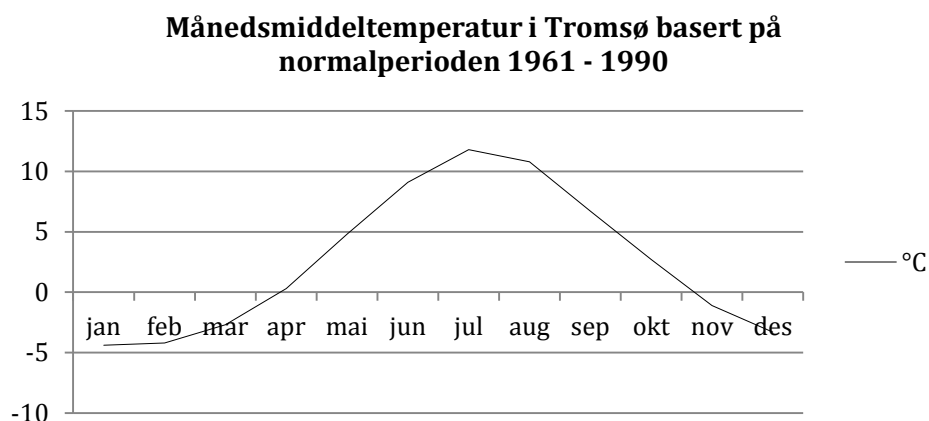
Figur 4: Oversiktsbilde av Tromsø by (Tekna, 2016).

Klimaet i Troms fylke har en relativt mild og nedbørrik kyst, men indre strøk har en lav årsnedbør og lave temperaturer om vinterstid (klimaservicesenter, 2016). Tromsøs kaldeste måned er januar med en månedsmiddeltemperatur på $-4,4$ °C og Tromsøs varmeste måned er juli med en månedsmiddeltemperatur på $11,8$ °C (se Tabell 2 og Figur 5). Tromsø kan derfor karakteriseres som et subarktisk område (eKlima, 2016). Tromsø har lang vinter, men på grunn av varme havstrømmer nyter Tromsø et moderat klima.

Tabell 2 og Figur 5 viser månedsmiddeltemperaturer for Tromsø i °C. Tromsø har en årsmiddeltemperatur på 2,5 °C (eKlima, 2016).

Månedsmiddeltemperatur i Tromsø basert på normalperioden 1961 - 1990													
Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
°C	-4,4	-4,2	-2,7	0,3	4,8	9,1	11,8	10,8	6,7	2,7	-1,1	-3,3	2,5

Tabell 2: Månedsmiddeltemperaturer (°C) for Tromsø, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016)

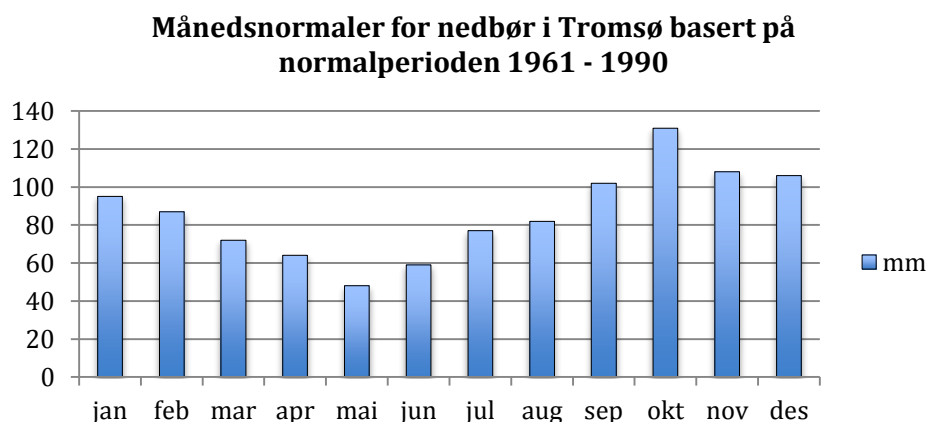


Figur 5: Månedsmiddeltemperaturer i Tromsø som graf, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).

Tabell 3 og Figur 6 viser gjennomsnittlig nedbør for Tromsø i mm. Tromsø har en gjennomsnittlig årsnedbør på 1031 mm (eKlima, 2016).

Månedsnormaler for nedbør i Tromsø basert på normalperioden 1961 - 1990													
Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
mm	95	87	72	64	48	59	77	82	102	131	108	106	1031

Tabell 3: Gjennomsnittlig nedbørsmengder (mm) i Tromsø, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).



Figur 6: Nedbørsmengder i Tromsø som graf, målingene er gjort ved målestasjon nr. 90450 (eKlima, 2016).

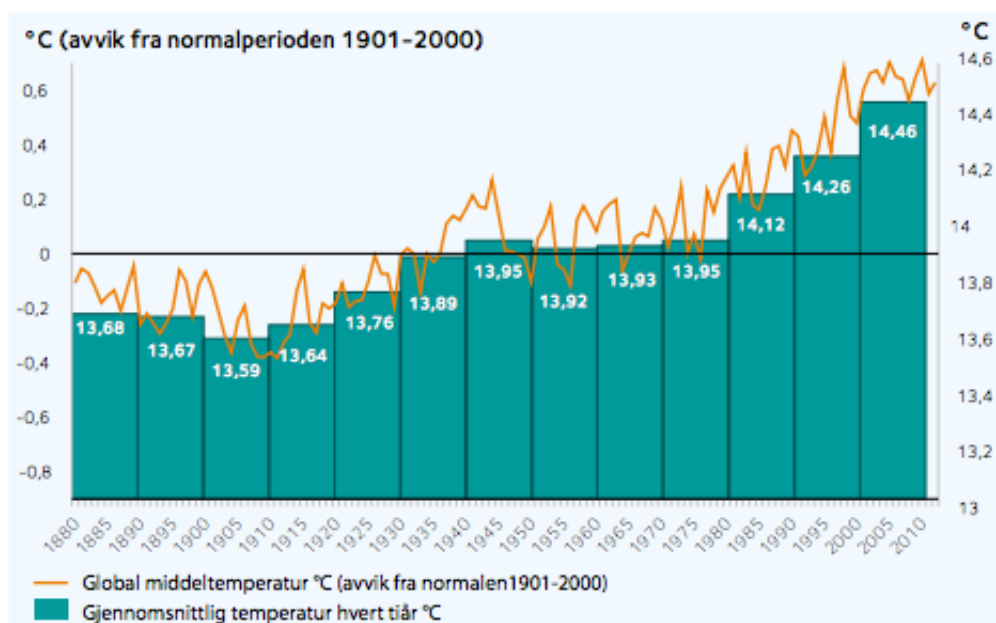
2.3 Klimaendring

Med klimaendringer mener vi en endring i klimaet i forhold til normalen i en gitt periode som for eksempel høyere temperaturer og mer nedbør. Klimaendringer blir skapt av klimapådriv som kan både være naturlig, som for eksempel strålingspådriv fra solen, vulkaner og lignende, eller menneskeskapt som utslipp av klimagasser (Alfsen et al., 2013).

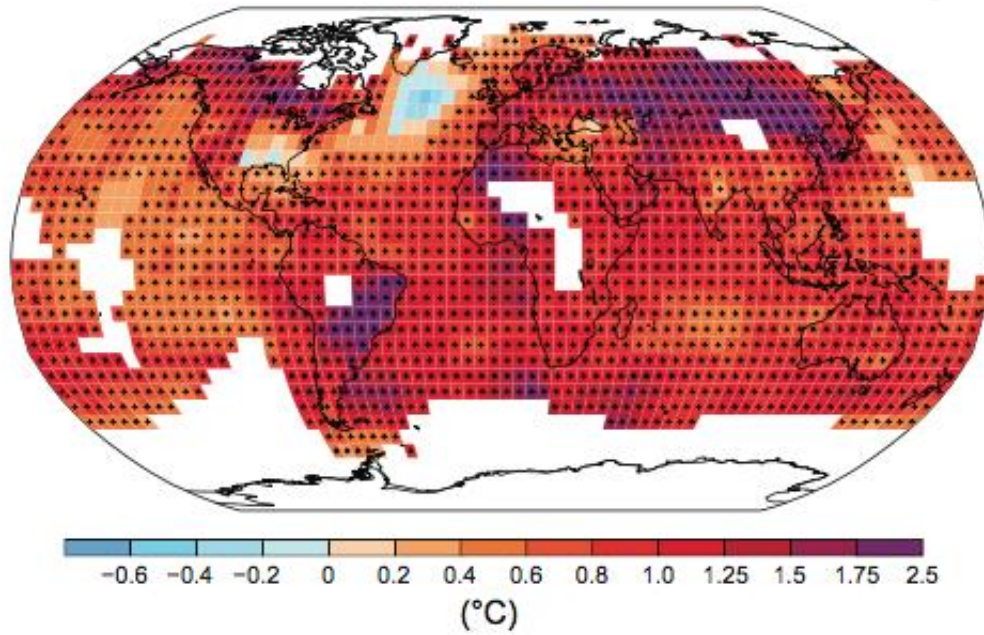
Et stadig økende antall observasjoner bekrefter endringer i klimasystemet. I følge FNs klimapanel er verden dårlig forberedt på effektene klimaendringer vil forårsake i fremtiden. Temperaturen vil øke og ekstremvær vil komme oftere og være mer intens. I Arktis har gjennomsnittstemperaturen økt nesten dobbelt så mye som resten av verden og dette har resultert i smelting av isbreer og havis. Det som skjer i Arktis er en tidlig indikasjon på klimaendringer (CICERO, 2016).

I FNs fjerde hovedrapport fra 2007 blir det konkludert at den globale gjennomsnittstemperaturen har økt med 0,74 °C i den oppdaterte 100-års perioden (1906-2005), noe som er en økning på 0.14 °C siden forrige 100-års periode (1901 – 2000) som viste en global gjennomsnittstemperatur på 0,6 °C (IPCC, 2007a). Med denne utviklingen vil gjennomsnittstemperaturen øke ytterligere og vil i løpet av det 21. århundret stige til et sted mellom 1,1 °C og 6,4 °C og dermed øker sannsynligheten for at ekstremvarme og intens nedbør vil inntreffe oftere (IPCC, 2007a).

I FNs femte hovedrapport fra 2013 viser det seg at hvert av de tre siste tiårene har vært varmere enn det forrige, og på den nordlige halvkule har i perioden 1983-2013 hver den varmeste 30-års perioden på 1400 år. Målinger viser også at temperaturen i atmosfæren økte med 0,85 °C fra 1880 til 2012 (se Figur 7 og Figur 8) (IPCC, 2013).

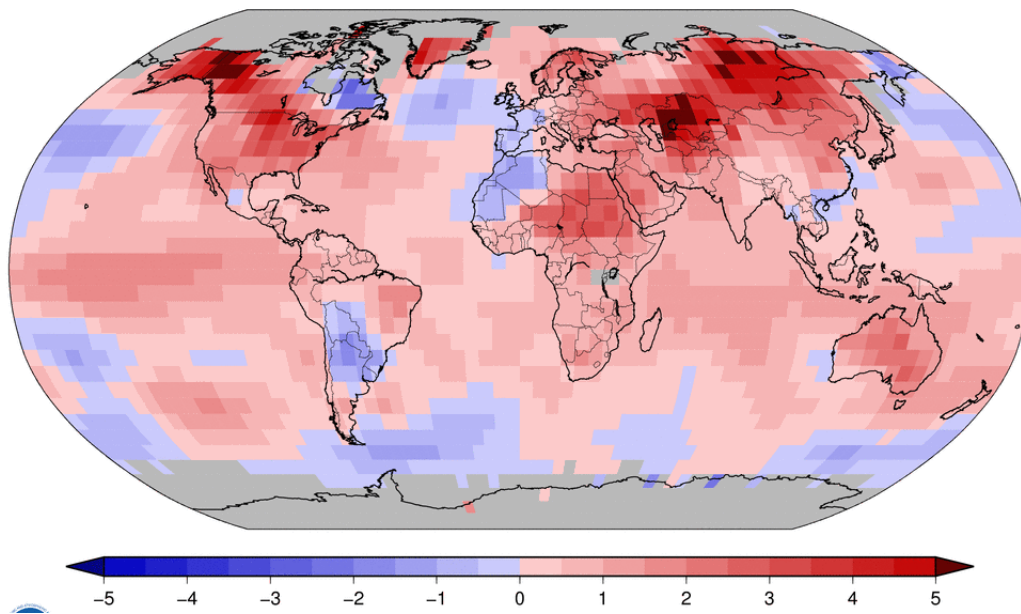


Figur 7: Figuren viser avvik fra den årlige globale middeltemperaturen fra 1880-2012 og den globale gjennomsnittlige temperaturen per tiår (Miljødirektoratet, 2014).



Figur 8: Observerte temperaturendringer i atmosfæren fra 1901-2012 (IPCC, 2013).

Figur 9 viser en måling gjort av NOAA for mars måned 2016 og er dermed en mer oppdatert figur. Figuren viser temperaturendringer i °C og bruker perioden 1981-2010 som referanseperiode.



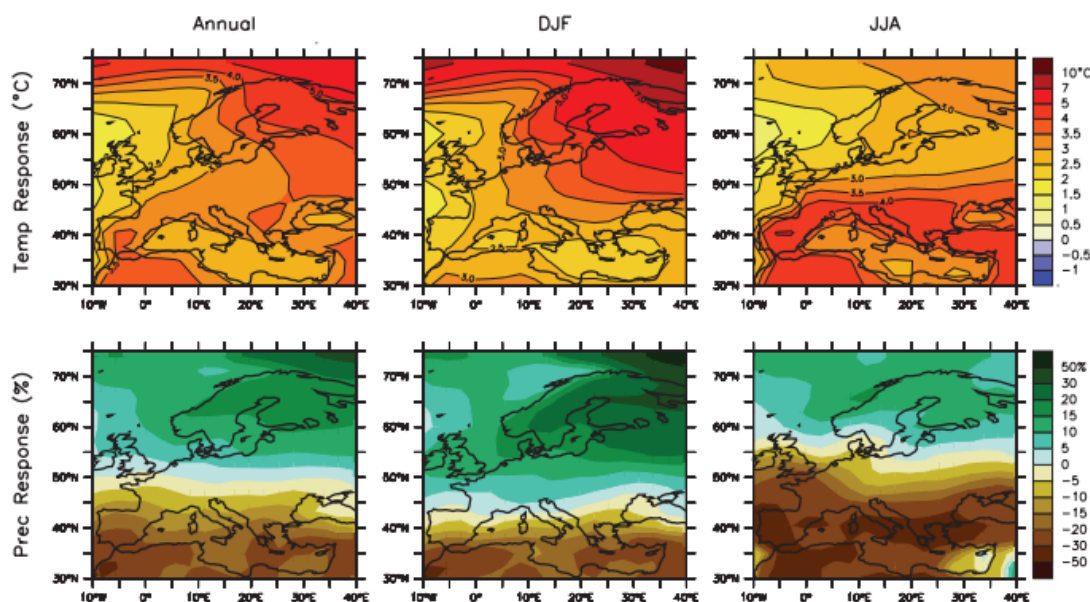
Figur 9: Temperaturendringer målt i grader celsius registrert i Mars 2016 (NOAA, 2016).

2.4 Lokale konsekvenser av klimaendringer

Modeller viser at klimaet i Norge vil i framtiden gi mildere vær og mer nedbør. Nord-Norge vil oppleve den største oppvarmingen spesielt om vintrene, men hele landet vil få mindre snø og mer nedbør (Miljødirektoratet, 2015).

FNs klimapanel har laget flere modeller for framtidige klimaendringer etter hvordan klimautslippene fortsetter. Med fortsatt økende klimautslipp («verste» scenario) som i dag, vil gjennomsnittstemperaturen kunne øke med ca. 4,5 °C (3,3 til 6,4 °C) innen år 2100 i Norge. Temperaturen vil øke mer om vinteren enn om sommeren og økningen vil bli størst i Nord-Norge og større på innlandet enn på kysten (se Figur 10). Antall mildværsdager om vinteren (over 0°C) vil øke over hele Norge (Miljødirektoratet, 2015).

Nedbør vil i årene fram mot 2100 i Norge økes med ca. 18 % (fra 7 til 23 %) og episoder med styrtregn vil forekomme oftere og være kraftigere, det samme gjelder for regnflommer (se Figur 10). Dager med kraftig nedbør forventes å fordobles og nedbørsmengden på disse dagene vil øke med 19 % (Miljødirektoratet, 2015).



Figur 10: Figuren viser forventet økt lufttemperatur og nedbør mot år 2100, hvor DJF står for vintermånedene des, jan og feb og JJA står for sommermånedene jun, jul, aug (IPCC, 2007b).

Snøsesongen i Norge fram mot år 2100 vil blir kortere, spesielt i lavlandet. Den maksimale snømengden vil reduseres og da spesielt på kysten av Troms og Finnmark, i Nordland og på høyereliggende områder på Vestlandet. På høyfjellet kan snømengden økes ettersom økt nedbør vil komme som snø. Ekstremår med spesielt store snømengder kan også forekomme, ettersom store nedbørsmengder om vinteren kan gi både mye snø samt sludd som kan øke belastninger på infrastrukturen (Miljødirektoratet, 2015).

3 Fuktmekanikk

Fukt kan transporteres i materialer i både dampform og væskeform og det er kun materialer med et lukket poresystem som ikke vil kunne ta opp fukt, som for eksempel metaller eller glass. Fukttransport i dampfasen skjer i hovedsak ved diffusjon (se punkt 3.1) og luftlekkasjer (se punkt 3.2), mens fukttransport i væskeform (se punkt 3.3) skyldes hovedsakelig tyngdekraft, vannovertrykk, vindtrykk eller kapillære krefter inne i materialet (SINTEF, 2005).

3.1 Vanndampdiffusjon

Vannmolekyler har høy hastighet i gassfasen og vil derfor fordele seg jevnt i det tilgjengelige volumet i et avgrenset rom. En slik transport av vanndamp i retning av lavere vanndamptrykk på grunn av bevegelser av vannmolekyler kalles diffusjon (Geving and Thue, 2002).

Vanndampdiffusjon kan over tid føre til skadelig høy RF og kondens inne i konstruksjoner. For eksempel i rom med høy innvendig fuktbelastning kan fuktskader oppstå dersom dampsperra mot rommet ikke har høy nok dampmotstand. Skader som oppstår på grunn av diffusjon, skyldes som oftest feil konstruksjonsvalg og kan berøre store deler av konstruksjonen (SINTEF, 2005).

3.1.1 Vanndampdiffusjon i luft

Ved vanndampdiffusjon i luft vil forskjeller i vanndampens partialtrykk gradvis jevnes ut over tid ved diffusjon. Under isoterme forhold kan dette uttrykkes ved Ficks diffusjonslov (Geving and Thue, 2002):

$$g = -D_p \times \nabla p_v = -D_v \times \nabla v \quad (1)$$

Hvor:

g = dampfluks, diffundert dampmengde per tids- og flateenhet ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

∇p_v = gradienten i vanndampens partialtrykk (Pa/m)

∇v = gradienten i vanndampkonsentrasjon (kg/m^3 pr. m)

D_p = Vanndampens diffusjonstall i luft ($\text{kg}/(\text{msPa})$) basert på damptrykk

$D_v = D_p \times R_v \times T =$ Vanndampens diffusjonstall i luft (m^2/s) basert på dampkonsentrasjon

R_v = gasskonstanten for vanndamp = $461,4 \text{ Nm}/\text{kgK}$

T = absolutt temperatur (K)

Dampstrømmen vil altså bare avhenge av vanndampens diffusjonstall og endring i vanndamptrykk eller konsentrasjon per lengdeenhet ved konstant temperatur. Minustegnet på høyresiden av ligningen illustrerer at dampstrømmen går mot lavere partialtrykk (Geving and Thue, 2002).

3.1.2 Vanndampdiffusjon i et materiale

Hvis et tørt, porøst materiale plasseres i fuktig luft, vil vanndampmolekylene diffundere inn i porene til materialet. Etter en tid vil fuktinnholdet i materialet være i likevekt med omgivelsene. Hvis materialet har et høyere fuktinnhold en omgivende luft vil vanndamp diffundere ut av materialet. I de mindre porene vil molekylbevegelsene bli bestemt av sammenstøt med poreveggene og den transporterte dampmengden vil bli bestemt av antall molekyler som treffer poreåpningen. Denne måten for damptransport kalles effusjon, men betraktes som diffusjon siden drivpotensialet til begge transportmåtene er vanndamptrykk (Geving and Thue, 2002).

Innvirkningen av materialets mikrostruktur kan da uttrykkes ved hjelp av en motstandsfaktor for materialet (Geving and Thue, 2002):

$$\delta_p = \frac{D_p}{\mu} \quad (2)$$

Hvor:

δ_p = diffusjonstallet/vanndamppermeabiliteten (kg/(m Pa s))

D_p = Vanndampens diffusjonstall i luft, basert på damptrykk (kg/(m Pa s))

μ = relativ fuktmotstand for materialet

Ved å kombinere ligning (1) og ligning (2) kan man sette opp følgende uttrykk for fukttransporten under isoterme forhold og ved endimensjonal strøm (Geving and Thue, 2002):

$$g = -\delta_v \times \frac{dv}{dx} = -\delta_p \times \frac{dp_v}{dx} \quad (3)$$

Hvor:

δ = vanndamppermeabiliteten for materialet:

$\delta_v = \delta_v \times (R_v \times T)$ (m^2/s), relatert til konsentrasjonsgradient

$\delta_p = (\text{kg}/(\text{m Pa s}))$, relatert til damptrykkgradient

x = diffusjonsveien (m)

Fuktmotstanden μ for et materiale er uavhengig av temperaturen, men det er naturlig å anta at fuktmotstanden vil øke i likhet med fuktinnholdet. Det vil si at permeabiliteten minsker ved økende fuktinnhold (Geving and Thue, 2002).

3.2 Fuktkonveksjon

Fuktkonveksjon er når vanddamp transporteres med luftstrømmer fra et høyere lufttrykk til et lavere lufttrykk (Geving and Thue, 2002).

Luftstrømmer som kjøles ned på vei mot kald side av konstruksjonen kan føre til store mengder kondens. Slike luftlekkasjer skyldes ofte uheldig konstruksjonsutførelse (se punkt 5.7) og faren for fuktskader er som regel ved innvendig overtrykk, som vil si luftstrømmer innenfra og ut (SINTEF, 2005).

I luftfylte spalter og/eller hulrom i konstruksjonen, samt i luftpermeable materialsjikt, kan naturlig konveksjon forekomme. Naturlig konveksjon kan føre til omfordeling av fukt inne i konstruksjonen og temperaturforskjeller vil være drivkraften for dette (Geving and Thue, 2002).

En forskjell i luftas totaltrykk over en bygningsdel kan føre til påtvunget konveksjon, som kan medføre større luftstrømmer enn naturlig konveksjon. Hvis lufta strømmer fra varm til kald side, vil lufta avkjøles og få høyere relativ fuktighet. Dette vil kunne føre til kondens dersom temperaturen i konstruksjonen er lavere enn inneluftas duggpunkt (Geving and Thue, 2002). Et eksempel for dette er ved et overtrykk oppunder himling og utettheter i takkonstruksjonen, vil det være en totaltrykkforskjell som kan føre til konveksjon innenfra og ut. Fare for kondens inne i konstruksjonen vil oppstå ved avkjøling av fuktig inneluft som strømmer innenfra og ut (Bygningsfysikk, 2015).

For å bestemme fukttransporten ved fuktkonveksjon må man først bestemme luftstrømmen ved hjelp av Darcys lov (Geving and Thue, 2002):

$$L = -A \times \frac{B_0}{\eta} \times \frac{db_t}{dx} = -A \times k_a \times \frac{dp_t}{dx} \quad (4)$$

Hvor:

L = luftmengde (m^3/s)

A = areal normalt på strømrretningen (m^2)

B_0 = spesifikk permeabilitet (m^2)

η = luftas dynamiske viskositet ($\approx 18,1 \times 10^{-6}$ Pa s ved $20^\circ C$)

dp_t/dx = totaltrykkgradient (Pa/m)

$k_a = B_0/\eta$: materialets luftgjennomslippelighet ($m^2/(Pa s)$)

Når man kjenner luftmengden, kan man regne ut fuktmengden ved (Geving and Thue, 2002):

$$G = L \times v \quad (5)$$

Hvor:

G = transportert fuktmengde (kg/s)

L = luftmengde (m^3/s)

v = luftas vanddampinnhold (kg/kg)

Darcys lov gjelder bare for laminære luftstrømmer. Strømning gjennom sprekker og hull blir mer komplisert å beregne.

3.3 Fuktttransport i væskefase

Transport i væskeform blir dominerende og til dels større enn vanndamptransporten når fuktinnholdet blir tilsvarende <98% RF. Væsketransport skjer ved en kombinasjon av kapillærledning og overflatekryping (Geving and Thue, 2002).

Væsketransport i porøse materialer kan uttrykkes ved hjelp av Darcys lov for laminær strømning i vannmettede materialer på følgende måte (Geving and Thue, 2002):

$$g_w = K_1 \times \nabla s \quad (6)$$

Hvor:

$$g_w = \text{væskestrømtetthet (kg/(m}^2\text{s))}$$

$$K_1 = \text{permeabilitetskoeffisient (kg/(m Pa s))}$$

$$s = \text{kapillært undertrykk (Pa)}$$

Permeabilitetskoeffisienten K_1 er tilnærmet konstant ved strømning i et vannmettet materiale, men avhengig av fuktinnhold ved lavere fuktinnhold (Geving and Thue, 2002).

Ved store porer vil sugekraften være så liten at den kan ses bort ifra og denne øvre grensen settes i praksis ved en poreradius på ca. 1 mm. Mengden vann som transporteres kapillært vil være avhengig av metningsgraden til materialet. Den kapillære ledningsevnen øker med fuktinnholdet, helt til materialet er helt vannmettet. For at kapillært bundet vann skal gå over til fritt vann må tilleggskrefter som statisk overtrykk, vindtrykk eller gravitasjon være til stede. Ved små porer vil ytre påkjenninger som vanntrykk, vind og tyngdekraft spille en liten rolle siden disse kreftene vil være mest aktive ved store porer. I store lekkasjer hvor vannet strømmer inn i store mengder, vil som regel ytre påkjenninger være medvirkende og gjerne i kombinasjon med riss eller sprekker i den aktuelle bygningsdelen (Geving and Thue, 2002).

Over kontaktflater mellom to materialer, kan vann suges fra det ene materialet til det andre materialet, om begge materialene er kapillærsugende. Effekten vil bestemmes av porefordeling, fuktinnhold og hvor god kontakt det er mellom poresystemene i kontaktflaten. Finporøse materialer vil potensielt ha et større porevannundertrykk enn grove materialet og vil derfor generelt kunne suge vann fra et grovporøst materialet (Geving and Thue, 2002). Det vil for eksempel være nødvendig med et kapillærbrytende sjikt mellom treverk og betong, siden treverket anses som et finporøst materiale og vil kunne suge vann kapillært fra betongen som har en grovere porestruktur (Bygningsfysikk, 2015).

4 Kompakte tak

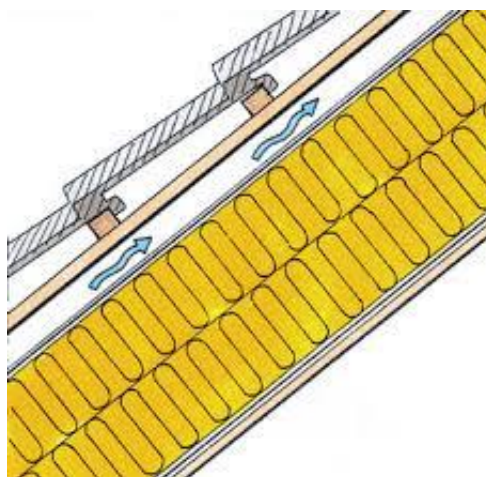
Et tak skal opprettholde følgende funksjoner(SINTEF, 2007b):

- Holde tett mot nedbør.
- Ha gode avrennings- og nedløpsforhold.
- Bære opptredende snølaste, vindlaste og nyttelaste.
- Isolere mot varmetap fra oppvarmede rom.
- Isolere mot utendørs støy.
- Bidra til minst mulig brannspredning.
- Bidra til en tilfredsstillende estetisk form.

Tak deles gjerne opp i to hovedtaktyper: Luftede (kalde) tak (se Figur 11) og kompakte (varme) tak. Tabell 4 viser en oversikt over hvilke taktyper de to hovedtaktypene kan deles opp i (SINTEF, 2007b).

Luftede (kalde) tak	Kompakte (varme) tak
Tak med kaldt loft	Flate tak
Luftede tak med isolasjon i takflaten	Skrå tak
Luftede tak med isolasjon i deler av takflaten – A-takstoler	Buetak
Flate tak med lufting	
Buetak med båndtekning	

Tabell 4: Tabellen viser en oversikt av forskjellige taktyper.



Figur 11: Prinsippkisse luftede tak (Isola, 2016)

Fordeler med luftede tak (SINTEF, 2007b):

- Kan bygges med utvendige nedløp.
- Innebygd fuktighet har evne til å tørke ut i konstruksjonen (uttørkingsevne).
- Hvis takfallet er på 18° eller mer, står man relativt fritt i valg av undertak og taktekning.

Fordeler med kompakte tak (SINTEF, 2007b):

- Gunstig på store bygninger, siden tilstrekkelig lufting av takflater på store bygninger er vanskelig.
- Tåler et visst vanntrykk med godt utført tekning, til forskjell fra luftede tak som ikke tåler et stående vanntrykk.
- Det er vanskelig for regn og snø å drive inn i taket.
- Lav byggehøyde.
- Hindrer vanligvis brannspredning bedre enn luftede tak.

4.1 Hva er kompakte tak?

Kompakte tak, også kalt varme tak er takkonstruksjoner hvor materialsjiktene ligger tett sammen uten lufting mellom varmeisolering og taktekning. Kompakte tak over oppvarmede rom er alltid varme tak, og varmegjennomgangen i taket gjør at snø kan smelte, selv i kuldegrader. Kompakte tak er ofte store flate tak, men kan også være skrå. Bæresystemet er oftest av betong, lettbetong eller profilerte stålplater. Kompakte tak blir brukt på alle typer bygninger. De egner seg godt for takflater på store bygninger, men det blir også brukt en del på små tak (SINTEF, 2012).

Kompakte tak har bærekonstruksjon nederst og varmeisolasjon under, over eller på begge sider av taktekningen. Kompakte tak bygges i henholdsvis rettvendte, omvendte eller duotak, men kan også bygges opp av fabrikkframstilte elementer (SINTEF, 2007a).

4.2 Rettvendte tak

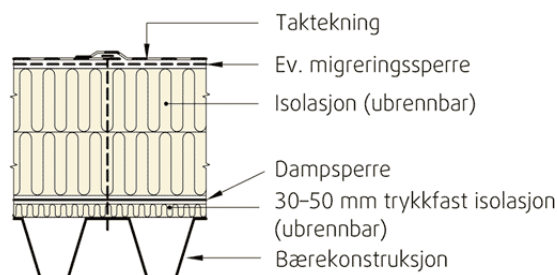
Rettvendte tak er den mest brukte typen av kompakte tak. Rettvendte tak har bærekonstruksjonen nederst, overliggende dampsperre, isolasjon og taktekning (se Figur 12, Figur 13 og Figur 14). Taktypen forutsetter at det ikke er fuktømfintlige materialer, som for eksempel treverk, mellom dampsperra og tekningen. Tak med trafikk kun for tilsyn og vedlikehold er et godt egnet bruksområde for rettvendte tak. Rettvendte tak med tung bærekonstruksjon i betong er godt egnet over lokaler med store fuktbelastninger, siden muligheten til å sørge for god lufttetthet er veldig god med denne konstruksjonstypen, og for ekstra fuktsikring kan man bruke takbelegg både som dampsperre og som taktekking (SINTEF, 2007a).

Som Geving og Thue (2002) spesifiserer, er viktig at isolasjonen holdes tørr under lagring og montering og eventuelle fuktige isolasjonsplater bør skiftes ut før tekking av taket. Byggfukt mellom dampsperra og tekningen vil kunne kondensere mot tekningen og føre til vannlekkasjer (se kapittel 5.7). Byggfukt kan også være et problem for hulldekkeelementer (se kapittel 5.8).

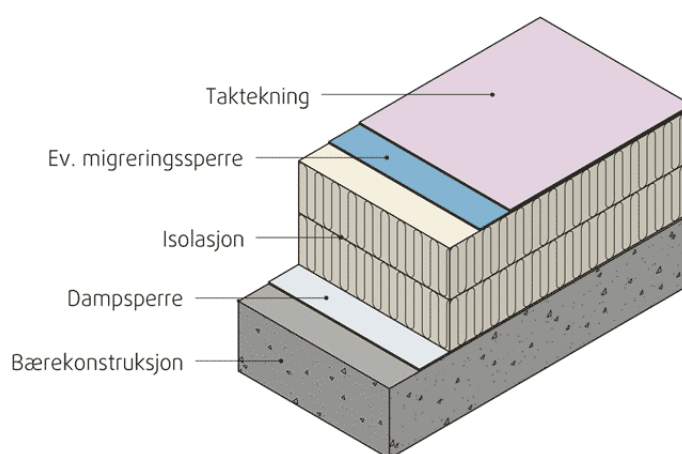
Kompakte rettvendte tak med stålplater som bærekonstruksjon er mer utsatt for luftlekkasjer fra inneluft og påfølgende kondensproblemer enn betongtak er. Blant annet fordi gjennomføringer og overganger kan være vanskelig å få lufttette (se kapittel 5.7). Derfor anbefales ikke bæresystem av stålplater over fuktige lokaler (Geving and Thue, 2002).

Rettvendte kompakte tak med bærekonstruksjon av tre har god sikkerhet mot fuktskader siden det er lett å få dampsperrsjiktet helt lufttett. Ved å benytte taktekning som dampsperre, som asfaltbelegg eller takfolie, får man ekstra fuktsikring siden begge

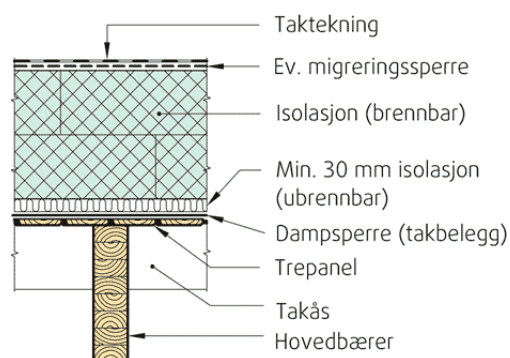
tekningsjiktene tilsluttes taknedløpene. Dermed minimaliserer risikoen for fuktskader, selv om det skulle oppstå lekkasjer i den ytterste tekningen og inn i isolasjonssjiktet (Geving and Thue, 2002).



Figur 12: Eksempler på rettvendte tak på bærekonstruksjon av stål (SINTEF, 2007a).



Figur 13: Rettvendt tak på bærekonstruksjon av betong (SINTEF, 2007a).



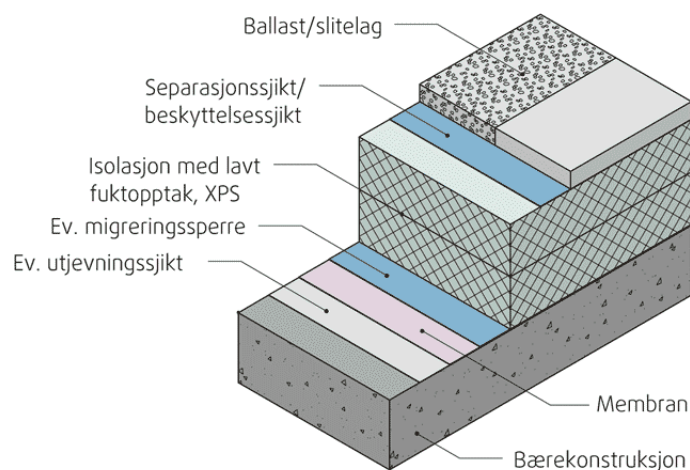
Figur 14: Rettvendt tak på bærekonstruksjon av tre (SINTEF, 2007a).

4.3 Omvendte tak og duotak

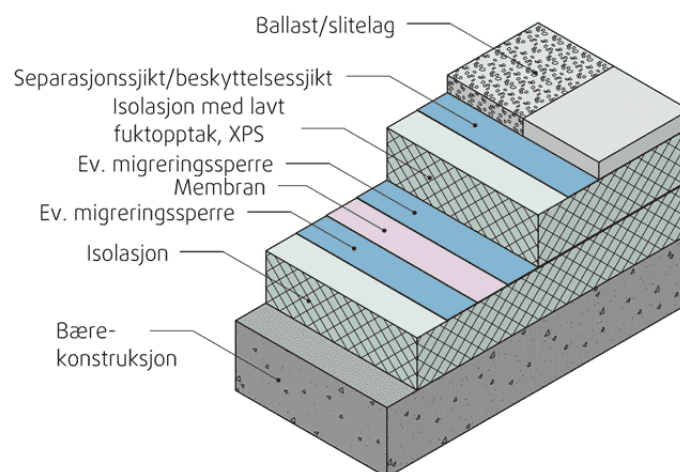
Omvendte tak har membran, isolasjon og ballast/slitelag over bærekonstruksjon (se Figur 15), mens duotak har isolasjon både under og over membranen (se Figur 16). Tak med trafikk ut over det som er nødvendig for tilsyn og vedlikehold er et godt egnet bruksområde for omvendte tak og duotak siden de beskytter membranen fra mekaniske påkjenninger. Bærekonstruksjonen er vanligvis av betong (SINTEF, 2007a).

En fuktteknisk fordel med disse konstruksjonstypene er at tekningen ligger beskyttet mot ekstreme klimatiske og mekaniske påkjenninger utenfra, og bygget kan raskt lukkes før isolasjonen legges. Siden isolasjonen ligger over tekningen egner det seg ikke å bruke isolasjon med høyt fuktopptak. Det må alltid benyttes en isolasjonstype med lavt fuktopptak, som XPS, når isolasjonen ligger over taktekningen (Geving and Thue, 2002).

Tettheten til membranen må alltid vanntrykkprøves før innbygging, siden det er dyrt/arbeidskrevende å finne og utbedre lekkasjer etter isolasjonen og ballast/slitelag er lagt. Derfor stilles det strengere krav til sikkerhet mot utettheter i membranen enn for rettvendte tak. Dampspærre benyttes ikke i rene omvendte- og duotak. Men hvis tekningen i duotak har mer enn 1/4 av den totale varmeisolasjonen på innsiden, må det legges inn egen dampspærre mellom betong og isolasjon for å forhindre kondens mot dampsperra (Geving and Thue, 2002).



Figur 15: Eksempel på omvendt tak (SINTEF, 2007a).



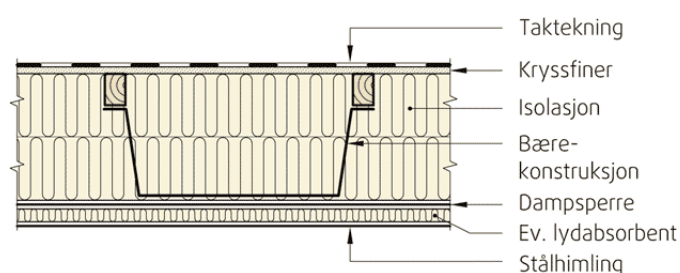
Figur 16: Eksempel på duotak (SINTEF, 2007a).

4.4 Fabrikkframstilte takelementer

Ved fabrikkframstilte takelementer er det viktig å planlegge transport, lagring og montering nøye for å unngå fuktinntrengning siden det ofte er fuktømfintlige materialer inne i elementet som gjør takelementene følsomme for byggfukt og nedbør (se Figur 17). Fordelen ved takelementer er at taket kommer på plass relativt hurtig, og dermed minker sjansene for fuktinntrengning ved nøyaktig utførelse av detaljer og gjennomføringer (SINTEF, 2007a).

Fabrikkframstilte takelementer egner seg ikke til bruk i bygninger med store fuktbelastninger som svømmehaller, vaskerier, osv. (SINTEF, 2007a).

For å minske faren for luftlekkasjer kan man sørge for at bygningens ventilasjonsanlegg innreguleres slik at bygningen settes under konstant undertrykk (Geving and Thue, 2002).



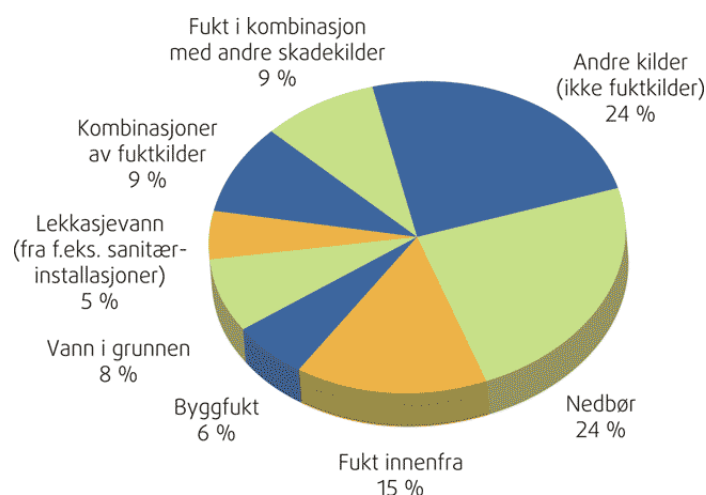
Figur 17: Eksempel på oppbygning av et takelement (SINTEF, 2007a).

5 Fuktskader i kompakte tak

Hardarson (2005) beskriver ytre krefter, aktører og indre krefter som hovedårsaker til skader på bygg. Ytre krefter innebærer stor fokus på tid og penger, samt manglende fokus på kvalitetskrav. Aktører innebærer dårlig kommunikasjon mellom aktører og uklare roller. Indre krefter innebærer stort fokus på kunst og teknologi og mindre fokus på praktiske og funksjonelle forhold (Hardason, 2005). Noreng (2015) beskriver tidlige ansvarsavklaringer, behov for tydelighet på tegninger og beskrivelser, samt involvering av god kommunikasjon mellom aktørene som viktige faktorer for å unngå uheldige resultater (Noreng, 2015).

De årlige kostnadene forbundet med utbedring av prosessforårsakede byggskader i Norge beløper seg til omkring 4% (+/- 2%) av de årlige investeringskostnadene ved nybygging. Og kostnader til oppretting av feil på bygg før overlevering anslås å ligge på samme nivå. Dette betyr at det samlede forbedringspotensialet i byggenæringen ligger på 7-11% av årlig netto byggproduksjon (Ingvaldsen, 2008). En byggevirkosomhet helt uten feil og skader er urealistisk, men å redusere omfanget av byggskader betydelig er fullt mulig gjennom en forebyggende innsats innen flere områder og av alle aktører i byggenæringen (SINTEF, 2010).

Undersøkelser gjort av Byggforsk viser at 3/4 av prosessforårsakede byggskader skyldes fuktpåvirkning i en eller annen form (se Figur 18).



Figur 18: Kakediagrammet viser fordelingen av skadekilder for prosessforårsakede byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).

Nedbør er den mest kritiske klimapåkjenningen. Skadekilden omfatter alle typer av nedbør og høy relativ fuktighet. Problemene er ofte knyttet til en kombinasjon av nedbør og vind (slagregn og drivsnø) (SINTEF, 2010).

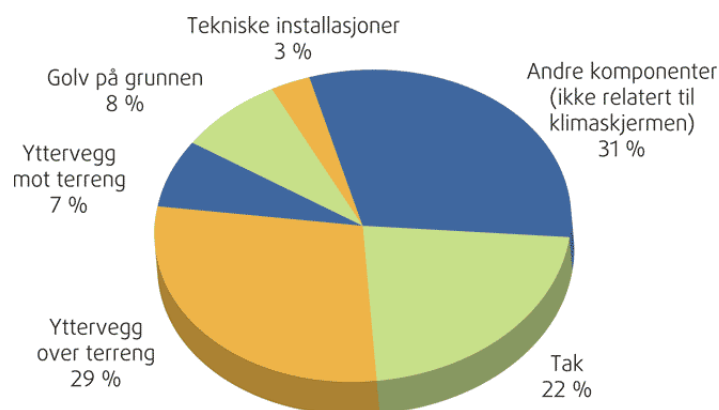
Fukt innenfra vil si fuktproduksjon fra virksomhet, mennesker, dyr og planter fra den daglige driften. Typiske skader er kondensskader i tak og øvre del av vegger og dårlig isolerte partier (SINTEF, 2010).

Skader som oppstår på grunn av byggfukt skyldes at byggematerialer, som betong, trevirke, isolasjon og platekledninger, ikke er tørre før de kles inn bak tette sjikt. Gjelder også fuktighet fra nedbør og lekkasjer under oppføring av bygningen. Dannelse av råtesopp og mugg er typiske skader fra byggfukt og mangelfull beskyttelse under lagring av bygningsmaterialer og ved oppføring av bygninger er vanlige årsaker til byggfukt (SINTEF, 2010).

Vann i grunnen skjer typisk ved mangelfull drenering, terrengforhold som leder vann inn mot bygningen og murverk og puss som er ført under terreng uten beskyttelse mot fuktopptrekk (kapillært sug) fra bakken (SINTEF, 2010).

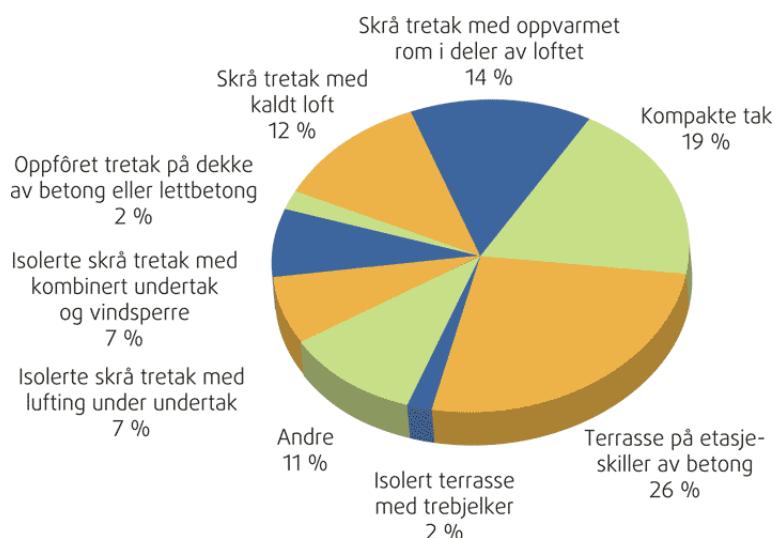
Lekkasjer fra klima- og sanitærinstallasjoner og svømmebasseng antas som en større skadekilde enn det som er visst i Figur 18, men SINTEF Byggforsk blir i liten grad bedt om å vurdere denne type skader (SINTEF, 2010).

SINTEF sitt byggskadearkiv viser at hele 66% av alle prosessforårsakede byggskader opptrer i tilknytning til bygningens klimaskjerm, som tak og terrasser, yttervegg og konstruksjoner mot terreng (se Figur 19).



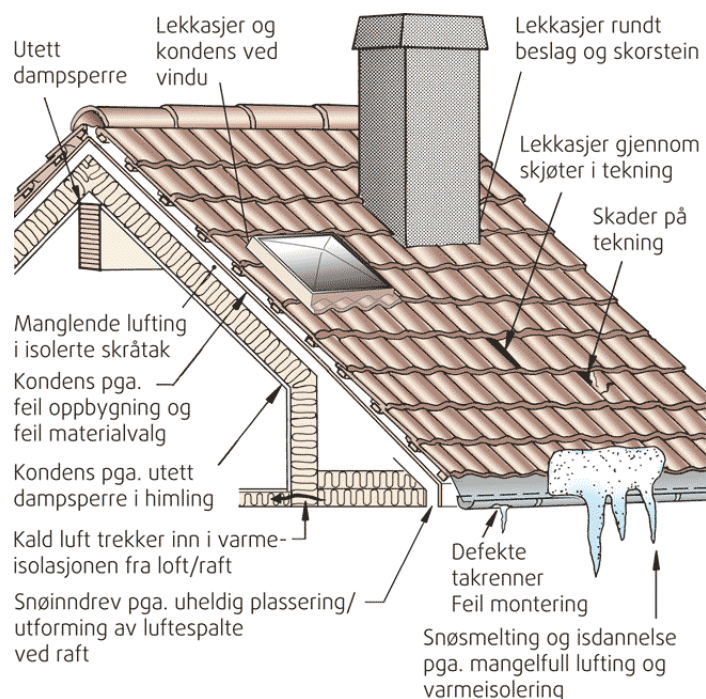
Figur 19: Kakediagrammet viser fordeling av skader etter bygningsdel forårsaket av prosessforårsakede byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).

Som visst i Figur 19 står tak for 22% av alle prosessforårsakede byggskader. Figur 20 viser fordelingen av de prosessforårsakede takskadene etter type tak.

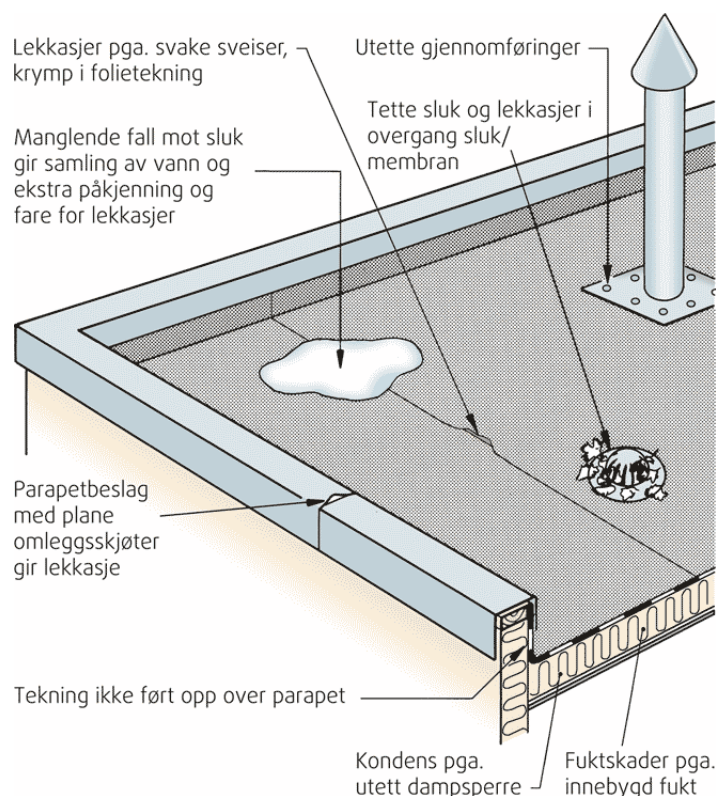


Figur 20: Kakediagrammet viser prosessforårsakede byggskader i tilknytning til tak fordelt på type tak for perioden 1993-2002 (SINTEF, 2010).

De fleste skadene på tak skyldes vannlekkasjer og kondens. Som vist i Figur 20 står kompakte tak for 19% av de prosessforårsakede byggskader på tak, mens skrå tretak står for 40% av skadene. Vanlige skader og feil for skrå tak er vist i Figur 21, og vanlige skader og feil for flate kompakte tak er visst i Figur 22.



Figur 21: Vanlige skader og feil på skrå tak (SINTEF, 2010).



Figur 22: Vanlige skader og feil på flate kompakte tak (SINTEF, 2010).

Når skader først oppstår i kompakte tak med prinsipielt riktig oppbygning, er det som regel i form av vannlekkasjer fra nedbør eller fuktskader på grunn av kondens. Nedbørslekkasjer er oftest registrert i rennepartier, overganger til andre taktyper, rundt ulike gjennomføringer og i form av lekkasjer gjennom tekningen. Fuktskader på grunn av kondens fra luftlekkasjer oppstår oftest i overgangen mellom tak og yttervegg, heisoppbygg og ventilasjonsoppbygg (SINTEF, 2012).

Typiske årsaker til vannlekkasjer og fuktskader skyldes ofte (SINTEF, 2012):

- Tette nedløp grunnet løv og rusk som fører til at vannet demmes opp på tak som mangler overløp. Vannet står da over tekkeoppbrettene og vil medføre fare for lekkasje, særlig i overganger mot vegger eller andre takkonstruksjoner.
- Hull i tekningen på grunn av mekaniske påkjenninger, blikkarbeider, arbeid med ventilasjonsoppbygg, og lignende.
- Ising ved raft, i renner og nedløp på feilkonstruerte tak.
- Kondens som oppstår når fuktig inneluft strømmer opp i taket og blir avkjølt med lave temperaturer ute.
- Kompliserte detaljer og andre komponenter på tak, som for eksempel takvinduer, røykluker og andre oppbygg som ofte gir tilleggspåkjenninger med vannlekkasjer eller kondens.

5.1 Kompakte taks selvuttørkingsevne

Takprodusentenes forskningsgruppe og Klima 2000 har utført en feltundersøkelse for å kartlegge hvordan fukt oppfører seg over tid i kompakte tak. Målet var å se om fukten tørker ut av seg selv eller vil skape problemer som kondensdrypp, korrosjon, redusert isolasjonsevne eller muggsopp og råtesopp (Lisø and Kvande, 2007).

Temaet innebygd fuktighet i kompakte tak ble aktuelt høsten 2000 på grunn av store nedbørmengder i Sør-Norge. Feltundersøkelsen gjort av TPF og Klima 2000 er delt opp i tre faser og omfatter 12 kompakte takkonstruksjoner i fase 1, mens fase 2 og 3 omfatter 9 av de samme takkonstruksjonene (se Vedlegg D – Takkonstruksjonenes oppbygging for TPF og Klima 200 feltundersøkelse). 10 av de 12 takene hadde hatt problemer med byggfukt under byggeperioden, mens 2 av de 12 takene hadde ikke hatt noen kjente fuktproblemer og skulle fungere som referansetak (Noreng, 2008).

Resultatene av undersøkelsen (Noreng, 2008):

- I 7 av 10 tak i fase 1 og i 4 av 7 tak i fase 2 og 3 ble det funnet fuktmengder målt som enkeltverdier større enn i referansetakene, men hvor måleverdier viser en klar uttørkende tendens.
- Undersøkelsen viste at selv om fukt helt tydelig har kommet inn i takene, så er det i flere tilfeller mindre omfang av fukt allerede 1,5 år etter tekkeperioden.
- I 2 tak ble det både i fase 1 og 2 observert så mye fukt at takdrypp kunne ha inntruffet. Fra et tredje tak ble det rapportert om noe takdrypp den første tiden.
- 4 av takene hadde i fase 1 fuktmengder i isolasjonen fra 1% opptil 18% volum. Det betyr en reduksjon av isolasjonsevnen fra 3-50% disse stedene. Tilsvarende hadde 2 av takene i fase 2 fuktmengder i isolasjonen fra 1% opptil 13% volum.
- Det ble ikke gjort funn av råtesopp, men det var heller ikke så mye treverk i takene. Mesteparten av treverket i takene var benyttet i forbindelse med parapetene som er steder der uttørkingmuligheten er god.
- Ved mikroskopering av materialprøver ble det påvist vekst av muggsopp og/eller bakterier i 7 tak i fase 1 og 9 tak i fase 2, hvorav rikelig forekomst i 2 til 3 av takene i begge fasene. I fase 3 ble det tilsvarende påvist vekst av muggsopp og/eller bakterier i 5 av 9 tak, hvorav meget sparsom til sparsom i 3 og sparsom til moderat vekst i 2 tak.
- Analysene viser sannsynlig vekst av muggsopp, gjærsopp og/eller bakterier mellom fase 2 og fase 3 i 2 av 9 tak, sparsom vekst i 5 tak og moderat vekst i 2 tak.
- Analysene viser sannsynlig vekst av muggsopp, gjærsopp og/eller bakterier mellom fase 2 og fase 3 i 2 av 9 tak, sparsom til moderat vekst i begge.
- Mot slutten av undersøkelsen ble det altså observert at den mikrobiologiske aktiviteten hadde avtatt.

Undersøkelsen konkluderer med at takene har hatt god seluttørkende evne og at andre uttørkingsmekanismer enn diffusjon må ha bidratt. Luftstrømmer i eller gjennom taket, både utilsiktede og tilsiktede, har sannsynligvis bidratt til seluttørkingen. Undersøkelsen viser at selv om betydelige mengder fukt har kommet inn i takene, var det bare i 2-3 av takene som det kunne ha ført til mulige problemer. 6,5 år etter tekking hadde 6 tak så lite fukt at de var å betrakte som normalt tørre (Noreng, 2008).

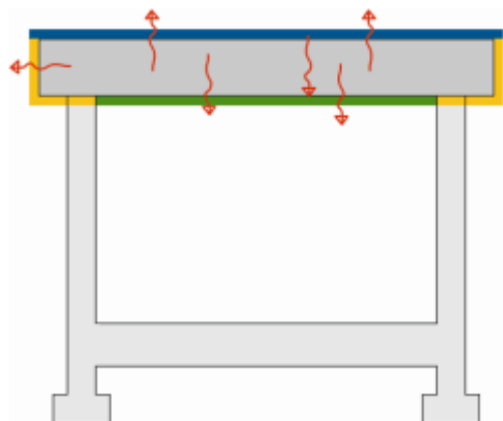
Fukt i kompakte tak kan skape problemer. Tabell 5 viser en oversikt basert på dagens erfaring om mulig problemomfang i forhold til fuktinnhold i kompakte tak.

Vanninnhold Volumprosent	Karakteristikk
< 0,2%	Lite fuktinnhold. Vanligvis helt uproblematisk.
0,2 – 1,0%	Moderat fuktinnhold. Gir sjelden problemer, men kan eventuelt forårsake mugg.
1,0 – 5,0%	Høyt fuktinnhold. Kan forårsake problemer som korrosjon og mugg.
> 5,0%	Svært høyt fuktinnhold. Kravene i teknisk forskrift vedrørende isolasjonsevne er neppe oppfylt. Andre problemer som takdrypp, mugg og korrosjon er mulige.

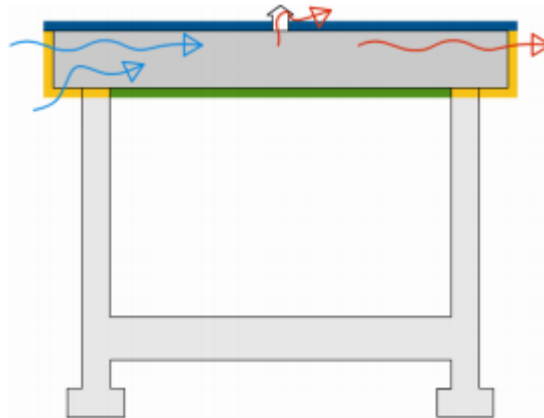
Tabell 5: Mulige problemer i forhold til fuktinnhold i kompakte tak (Lisø and Kvande, 2007).

I et tradisjonelt kompakt tak skal det i teorien ikke transporteres fukt inn eller ut av konstruksjonen ved konveksjon, siden både dampspærre og tekning skal være helt uten utettheter. I praksis vil det ofte være utettheter på grunn av skader eller utførelsesfeil, som kan bidra til både oppfuktning og uttørking av takkonstruksjoner på grunn av konveksjonsmekanismer (se prinsippsskisser, Figur 23 til Figur 27). Dermed vil det i praksis foregå fukttransport både ved diffusjon og konveksjon samtidig (Lisø and Kvande, 2007).

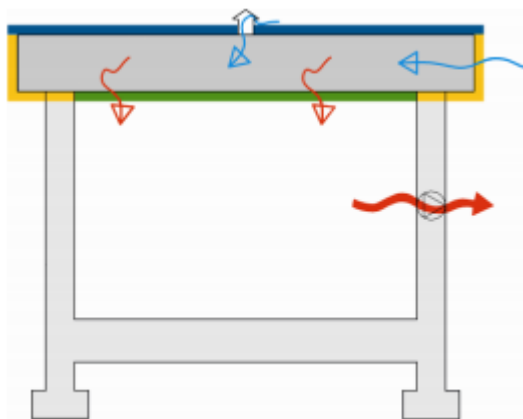
Klima 2000 har gjort beregninger som viser at kompakte tak under visse vilkår kan ha god uttørkingsevne ved luftgjennomstrømning via lufteåpninger mot uteluft uten at økningen i varmetapet blir for stor (se prinsippsskisser, Figur 23 til Figur 27). For at seluttørkingen skal være effektiv, kreves det et system av sammenhengende luftespalter i isolasjonen nær tekningen. For å hindre innblåsing av snø brukes filt, og for å minske faren for vindavrivning av tekningen plasseres åpningene i parapetens sugesone (Lisø and Kvande, 2007).



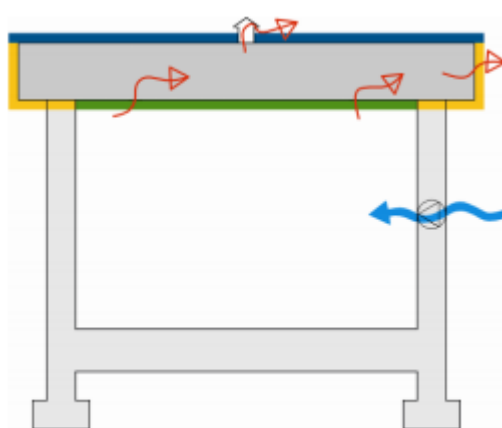
Figur 23: Vanndampdiffusjon gjennom taktekkning, dampsperre og takkantene (Uvsløkk, 2008).



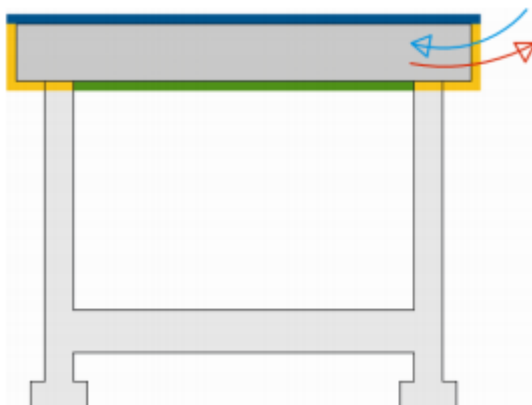
Figur 24: Konveksjon ved luftgjennomstrømning fra ute til ute. Kan øke selvuttørkingsevnen til taket (Uvsløkk, 2008).



Figur 25: Motstrømstak. Konveksjon ved gjennomstrømning fra utside til innside. Luften blir oppvarmet på veien gjennom isolasjonen og får derfor stor uttørkingskapasitet (Uvsløkk, 2008).



Figur 26: Konveksjon ved gjennomstrømning fra innside til utside. Kan øke selvuttørkingsevnen til taket. Risikoen for oppfukning av taket kan være stor i bygninger med normal eller mangelfull ventilasjon (Uvsløkk, 2008).



Figur 27: Konveksjon gjennom utettheter i gesims. Luftveksling med uteluft gjennom gesims med luftpermeabelt materiale kan øke selvuttørkingsevnen til taket (Uvsløkk, 2008).

I denne rapporten er det benyttet s_d – verdi for å beskrive vanddampmotstanden for materialer. s_d – verdien beskriver hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme diffusjonsmotstand som materialsjiktet.

Diffusjon ut gjennom taktekkingen (se Figur 23) er avhengig av at taktekkingen ikke er helt damptett som for eksempel belegget av butyl som har en s_d – verdi på opp til ca. 600 m. Asfalt takbelegg har som regel en s_d – verdi på mellom 100 m og 300 m, mens takfolier av PVC er mer dampåpne med en s_d – verdi på mellom 15 m og 40 m, og vil dermed kunne slippe ut fukt ved diffusjon. Diffusjon fra taket og ned gjennom dampspærre (se Figur 23) er som regel begrenset, ettersom det vanligvis brukes dampspærre av PE-folie med tykkelse 0,15 – 0,20 mm som har en s_d – verdi på mellom 70 m og 100 m. Diffusjon ut ved takkant, gesims eller parapet (se Figur 23), kan oppnås med dampåpne materialer som er dekket av en luftet kledning. Dermed kan en tradisjonell oppbygning av taket med damptett tekning og dampspærre oppnå en viss uttørkingsevne ved diffusjon ut av sidene på taket. Ved å isolere taket med dampåpen isolasjon, mineralull, som går kontinuerlig helt ut til vindspærren i parapet vil man kunne utnytte denne uttørkingmuligheten (Uvsløkk, 2008).

Gjennomstrømning av uteluft (se Figur 24) kan føre til både uttørking og oppfukning av takkonstruksjonen. For å oppnå uttørking gjennom luftgjennomstrømning må vanddampkonsentrasjonen i luften som strømmer ut være høyere enn i luften som strømmer inn. For at det skal være mulig for luft å strømme gjennom takkonstruksjonen må det være trykkforskjell mellom inn- og utløp, samt må taket ha en viss evne til å slippe igjennom luft. Dette kan oppnås ved å bruke isolasjon med luftpermabilitet eller kanaler i isolasjonssjiktet som luften kan strømme igjennom (Uvsløkk, 2008). Ved å bruke ventiler gjennom tekningen vil uttørkingsevnen kunne øke, men kan imidlertid føre til oppfukning ved klar nattehimmel samt redusere isolasjonsevnen (Oustad et al., 2005).

Konveksjon ved gjennomstrømning fra utside til innside (se Figur 25) ved at tilluften for ventilasjonen suges ned gjennom isolasjonen i taket slik at luften blir oppvarmet på vei ned kalles motstrømstak. Et slik tak kan få god uttørkingsevne siden uteluften som strømmer ned blir oppvarmet i isolasjonen, og samtidig vil luftstrømmen hindre oppfukning fra inneluften selv i rom med høy fuktbelastning (Uvsløkk, 2008).

Konveksjon ved gjennomstrømning fra innside til utside (se Figur 26) er i prinsippet det samme som motstrømstak bare omvendt, tilluften kommer innenifra. Faren med en slik løsning er at inneluften vanligvis inneholder mer fukt enn uteluften, og dermed er risikoen for at luftgjennomstrømningen gir oppfukning i stedet for uttørking større enn tilfellet for motstrømstak (Uvsløkk, 2008).

Konveksjon gjennom utettheter i gesims (se Figur 27) vil føre til uttørking dersom luften som strømmer ut av taket har høyere fuktinnhold enn den luften som strømmer inn igjen, noe som ofte vil være tilfellet hvis det er fritt vann i taket (Uvsløkk, 2008). Hvis materialsjiktet i takkantene har høy luftpermabilitet vil konveksjonseffekten kunne øke (Oustad et al., 2005).

5.2 Manglende fall

Mindre fall en ca. 1:40 i tak og 1:60 i renner fører ofte til stående vanddammer etter regnvær og ved snøsmelting (se Figur 28 og Figur 29). Vanddammer og is øker påkjenningen på tekningen, og risikoen for vann som trenger gjennom tekningen øker når det bygger seg opp et vanntrykk over utettheter i tekningen. Mens tak som har et godt fall, vil små utettheter i tekningen føre til bare små mengder lekkasjevann (SINTEF, 2012).



Figur 28: Eksempel på tak med manglende fall som fører til stående vanddammer som øker påkjenningen på tekningen (SINTEF, 2012).



Figur 29: Eksempel på tak med for lite fall mot sluk og hindringer, som fører til vanddammer (SINTEF, 2012).

For utbedring og tiltak til manglende fall i takkonstruksjonen se punkt 6.5.

5.3 Hindret avrenning

Alle gjennomføringer i taket bør planlegges slik at de blir plassert i høybrekkene (se punkt 6.5) slik at man hindrer at vandammer blir stående ved gjennomføringer i lavbrekk på taket som hindrer effektiv avrenning (se Figur 30). Fundamenter for ventilasjonsutstyr som er plassert eller støpt direkte på taktekingen, kan være et hinder for avrenning, og i tillegg gjøre framtidig omteking vanskelig (se Figur 31). Derfor bør store ventilasjonsinstallasjoner bygges på egne fundamenter direkte på bærekonstruksjonen (SINTEF, 2012).

Når man planlegger slukplasseringen på taket, må man ta hensyn til om underlaget ikke er plant som ved spennarmerte hulldekkeelementer, som buer opp på midten for å unngå hindret avrenning. En annen årsak til hindret avrenning kan være en tett sluk på grunn av løv og lignende, som fører til store vannansamlinger på taket (se Figur 45). Da må det oppdemmet vannet renne til neste sluk eller eventuelt overløp hvis tilgjengelig (SINTEF, 2012).



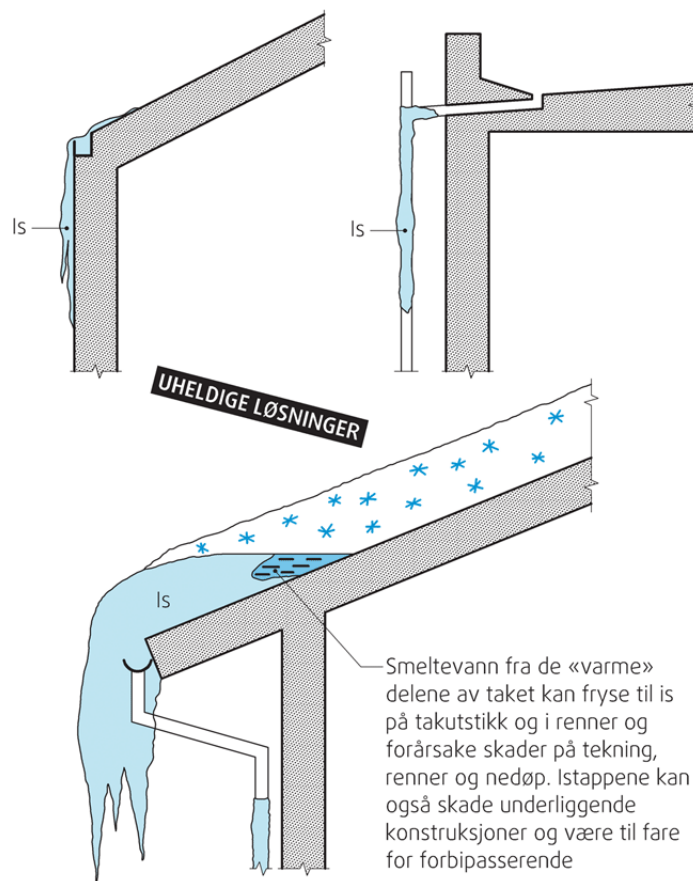
Figur 30: Eksempel på tak der feilplassert sluk i forhold til gjennomføringer i taket gjør at vandammer oppstår rundt gjennomføringene (SINTEF, 2012).



Figur 31: Eksempel på betongplate støpt direkte på tekingen som hindrer effektiv avrenning og vanskelig framtidig omteking (SINTEF, 2012).

5.4 Utvendig nedløp

I kompakte tak er utvendige nedløp ikke å anbefale. Siden det nederste snølaget kan smelte, selv i kuldegrader, må smeltevannet ledes bort fra taket i renner og nedløp som ikke har så lav temperatur at vannet kan fryse (se Figur 32). Derfor er det best å lage innvendige nedløp som ligger på innsiden av varmeisolasjonen (SINTEF, 2012).



Figur 32: Eksempler på problemer med utvendig nedløp på kompakte tak (SINTEF, 2012).

For utbedring og tiltak for utvendige nedløp se punkt 6.5.

5.5 Uheldige utforminger og vanskelige tekke detaljer

Når taket har flere gjennomføringer og/eller oppbygninger plassert nært hverandre eller nær konstruksjoner som parapet, vil dette vanskeliggjøre tekkearbeidet rundt (se Figur 33). Da kan det lett oppstå utettheter i tekningen med følge av vannlekkasjer ved oppdemning av vann på slike steder. For å utbedre slike problemer kan man bygge om til en forenklet form før omtekking (SINTEF, 2012).

Gjennomføringer bør prosjekteres mest mulig på forhånd og ha tilstrekkelig avstand mellom hver takgjennomføring, helst større enn 0,5 m for å oppnå tilfredsstillende tekking av taket (Geving and Thue, 2002).



Figur 33: Eksempel på uheldig utforming av taket hvor gjennomføringer er plassert nært hverandre (SINTEF, 2012).

5.6 Vannlekkasjer

En av de vanligste årsakene til vannlekkasjer er regnvann som lekker ut gjennom utettheter i tekningen (Geving, 2011).

I dag brukes vanligvis ett lag folie eller ett eller to lag asfalttakbelegg for tekking av kompakte tak. Ettlagstekning er mer utsatt for hull på grunn av arbeid på taket etter tekking enn tolagstening, hvor man kan legge siste lag sent i byggeprosessen (SINTEF, 2012).

Vannlekkasjer gjennom tekningen kan skyldes (SINTEF, 2012):

- Utette skjøter i belegget
- Perforering av belegget
- Oppdemning av vann ved lave oppkanter, 150 mm eller mindre, rundt gjennomføringer, skorstein, vegger eller parapeter (se Figur 34).

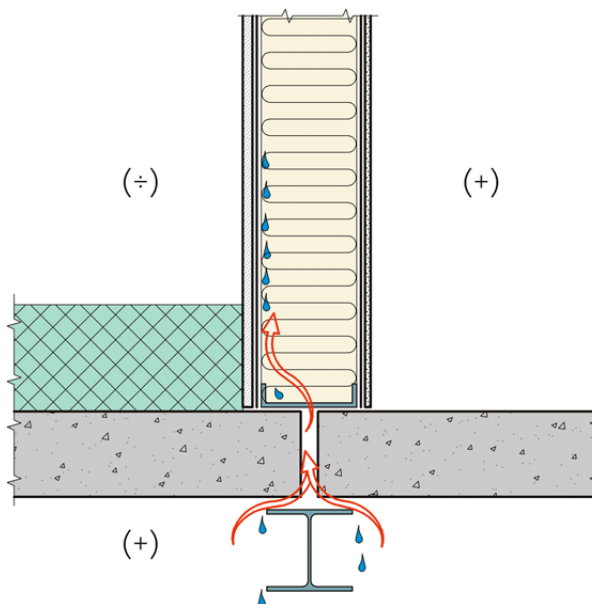
Områder med ettermonterte fester for antenner eller skilt er eksempler på steder på tak som ofte er utsatt for vannskader. Vannlekkasjer oppdages som oftest etter oppdemning av vann på grunn av is, sørpe eller tette nedløp (SINTEF, 2012).



Figur 34: Eksempel der is har lagt seg rundt gjennomføringen i høyde med takfoliens oppbrett og fører til fare for lekkasje ved at limforbindelsen svikter. Ved høyere fall og oppbrett ville risikoen for lekkasje ha minsket betydelig (SINTEF, 2012).

5.7 Kondens og luftlekkasjer

Kondens på grunn av luftlekkasjer innenfra er en vanlig årsak til fuktskader. Kondens kan oppstå ved at varm inneluft trekker opp i takkonstruksjonen og kjøles ned i den ytre delen av taket. Varm inneluft lekker opp i takkonstruksjonen gjennom utettheter i dampsperra eller gjennom utette tilslutninger ved gjennomføringer eller overganger til yttervegger. Eksempler på steder det lett blir utettheter er ventilasjons- og heisoppbygg eller parapeter. I lange kuldeperioder kan is og rim bygge seg opp i taket, eller vegger (se Figur 35), og smelte ved omslag til mildvær som kan føre til at kondensvann lekker inn på steder med utettheter (SINTEF, 2012).



Figur 35: Eksempel på kondens i en oppbygd vegg på grunn av luftlekkasje i bunnprofil (SINTEF, 2012).

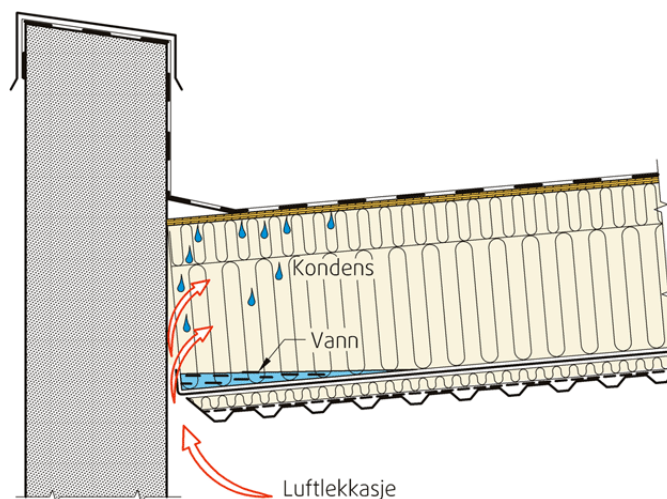
Luftlekkasjer ved gjennomføringer og overganger på grunn av utettheter i dampsperrsjiktet skjer ofte i takkonstruksjoner av bærende stålplater (se Figur 36). Hvis dampsperra ligger direkte på stålplatene, er utette skjøter i dampsperra, hvor inneluft kan komme gjennom, vanskelig å tette (SINTEF, 2012).

Derfor bør dampsperra alltid legges på et plant underlag ved for eksempel å legge kryssfinerplater oppå stålplatene. Eventuelt 30 mm tung mineralull, hvis krav til brannsikkerhet krever det (Geving and Thue, 2002).



Figur 36: Eksempel på gjennomføring i bærende stålplater med utett dampsperre (SINTEF, 2012).

I takelementer som fabrikkframstilte takelementer, som ofte har stålplater som bærekonstruksjon, kan kondens på grunn av luftlekkasjer gjennom elementskjøter, tilslutninger eller overganger oppstå (se Figur 37) (SINTEF, 2012).



Figur 37: Eksempel på luftlekkasje som fører til kondens i overgang mellom element og brystning i et fabrikkframstilt takelement (SINTEF, 2012).

For utbedring av luftlekkasjer, må luftlekkasjene stoppes i dampsperrsjiktet. Skjøte ny folie til den eksisterende folien er som regel det nødvendige tiltaket. Skumming med byggsaum kan også være en enkel og effektiv løsning ved enkelte tilfeller (SINTEF, 2012).

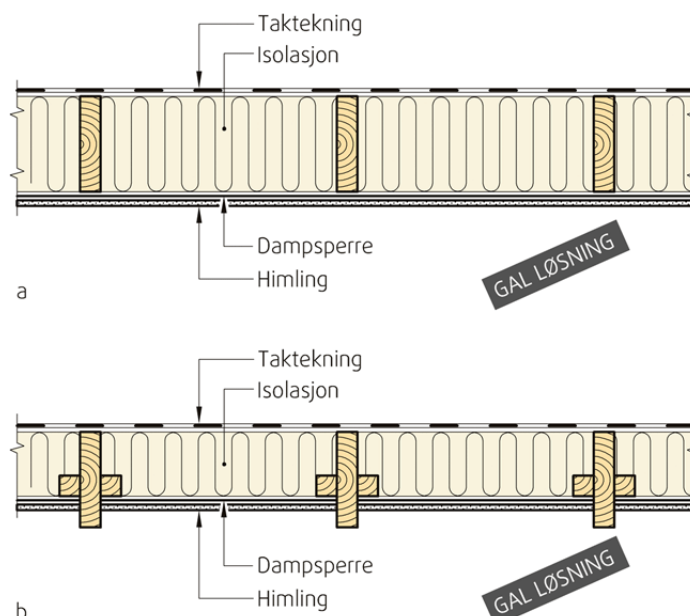
5.8 Byggfukt

Bygningsmaterialer som betong og tre vil ha et overskudd av fukt i et nytt bygg. I tillegg kan det i forbindelse med takarbeider i nedbørsrike perioder komme betydelige mengder fukt inn i takene. Siden kompakte tak gjerne har to damptette sjikt, er det viktig å la konstruksjonen tørke ut for å unngå å bygge inn fukt mellom de damptette sjiktene. Dette er spesielt viktig hvis konstruksjonen har fuktømfintlige (trebaserte) materialer mellom de damptette sjiktene (se punkt 5.9) (Noreng and Hisdal, 1996).

Byggfukt i hulldekkeelementer kan også forårsake vannlekkasjer ved at nedbør gir fritt vann i kanalene i elementene og videre lekkasjer i endene eller drenehullene. Fukt vil samle seg ved oppleggene siden hulldekkene er spennarmerte og buer opp på midten. Vann i elementene dreneres gjennom dreneringshull, og uttørking skjer som regel uten videre tiltak (SINTEF, 2012).

5.9 Råte i trectak

Kompakte tak med treverk mellom to damptette sjikt er skadeutsatt siden byggfukt, lekkasje- eller kondensvann har liten mulighet til å tørke ut mellom to damptette sjikt, og vil videre føre til mugg- og råteskader i treverket (se Figur 38) (SINTEF, 2012).



Figur 38: Eksempel på kompakte tak med treverk mellom to damptette sjikt hvor hele takbjelkehøyden er plassert mellom sjiktene (a) og synlige takbjelker som øker faren for luftlekkasjer innenfra som kan føre til kondens (b) (SINTEF, 2012).

5.10 Entreprenørens erfaringer

Etter undersøkelser gjort i form av intervjuer (Vedlegg H - Intervjuguider) og samtaler med entreprenør, er det tydelig at fuktproblemer i kompakte tak er en reel og mye diskutert problemstilling i byggebransjen i dag. Dette kapittelet er et sammendrag av informasjonen gitt av entreprenør gjennom intervjuer, og hvilke erfaringer de har hatt med bruk av kompakte tak. Tilfeller som ofte blir brakt fram er tetting rundt gjennomføringer (se punkt 5.7) og overgang mellom kompakt tak og sandwichelementer, samt større risiko med byggfukt på grunn av tettere konstruksjoner.

Entreprenør har opplevd fuktproblemer ved kondensering i tak på grunn luftlekkasjer som følge av utettheter i dampsperrsjiktet. Konsekvensen av dette har vært fuktansamling inne i konstruksjonen som videre fører til vannlekkasjer. Tiltak for dette har vært å rive opp og utføre installasjonen på nytt i dampsperrsjiktet. Utette gjennomføringer vil også skape luftlekkasjer som videre fører til kondens og fukt inne i konstruksjonen (se kapittel 5.7). Entreprenører har erfart at utettheter i dampsperra oppstår vanligvis rundt gjennomføringer og i feste mot fasadeelement (se kapittel 5.7 og 6.3.2). Manglende isolasjon rundt rørgjennomføringer er også et problem, siden det vil gi en mulighet til kondensering på utsiden av røret i varm sone. For å utbedre slike mangler har man sett seg nødt til å skjære opp konstruksjonen for å fylle på med isolasjon og tette dampsperre rund gjennomføringer med teip eller lignende.

Når det gjelder kasser på taket, har entreprenør best erfaring ved å fylle kassene helt opp med isolasjon for å unngå kondens, samt isolere i undersjikt og alltid bruke ventiler for lufting. For å unngå vanskelige tekkedetaljer som beskrevet i kapittel 5.5, er det viktig å tenke på plasseringen av kassene på taket under prosjektering. Kasser på taket må ikke plasseres for nær parapet (se Figur 28), samt med en avstand på minimum 0,5 m fra andre installasjoner og gjennomføringer (se kapittel 5.5).

Entreprenør mener valg av takteking kan være en utfordring. En vurdering må gjøres siden forskjellige tekkingsmaterialer har hver sine fordeler. Der for eksempel Derbigum er motstandsdyktig mot punktering, men veldig damp tett, så er takfolie mer dampåpen, men mer utsatt for punktering. Å unngå hull i tekningen kan være vanskelig i praksis under arbeid på taket. Samt å lokalisere og utbedre eventuelle hull som oppstår, er ofte billigere enn å gjøre beskyttelsestiltak for å unngå hull ved for eksempel å legge midlertidige plater på taket. Entreprenør erfarer at velge en lys tekning, har visst seg å skape problemer på grunn av at den lyse tekningen gir takkonstruksjonen dårligere uttørkingsevne ved diffusjon innover enn mørk tekning (se kapittel 6). Dette er på grunn av solen vil kunne varme opp en mørk tekning mer og dermed skape trykkforskjell som vil kunne gi diffusjon innover i konstruksjonen. En hvit takteking vil holde seg mye kjøligere i solen enn mørk takteking, og dermed «miste» denne uttørkingmekanismen.

Det entreprenør opplever i dag som den største utfordringen ved kompakte tak, er overgangen mellom tak og sandwichelementer med yttersjikt av stål som for eksempel PAROC sandwichelementer (PAROC, 2016a). Utfordringen her er at siden stålplatene er damp tette, er det ingen mulighet for taket å ha noen form for selvuttørkingsevne gjennom parapet, som man kan få gjennom for eksempel en dampåpen vindsperre i en bindingsvegg. Denne problemstillingen er mye diskutert og det er noe uvisst om hvordan man løser dette problemet, og hvilke tiltak som skal utføres for å unngå fuktproblemer i en slik konstruksjon. Overgangen blir mer komplisert dersom det planlegges for eksempel et teknisk rom på taket som er oppvarmet, og bruker sandwichelementer som vegger. Da oppstår overgangen

oppvarmet rom, sandwichelement og kompakt tak. Entreprenør ønsker gjerne informasjon og mer kunnskap om hva som er «riktig» løsning i forhold til overgang kompakte tak og sandwichelementer med yttersjikt av stål.

Å bygge en takkonstruksjon uten parapet «for at det ser fint ut», er en uheldig løsning som kan skape fuktproblemer. Dette er fordi en slik utforming vil gi eventuell fukt som befinner seg i fasade/yttervegg en mulighet til å vandre inn i takkonstruksjonen. Entreprenør forklarer at sandwichelement ikke nødvendigvis er helt tett og luftlekkasjer kan oppstå inn til sandwichelement ved flere detaljer.

6 Tiltak, valg av materialer og løsninger

SINTEF Byggforsk har gjennom årene opparbeidet seg følgende erfaringer ved valg av løsninger og materialer angående takkonstruksjoner (Noreng, 1995):

- Å ikke montere dampsperre i et kompakt tak med en bærekonstruksjon med utettheter vil gi risiko for uønsket fuktansamling i taket.
- Å ikke montere dampsperre på en plasstøpt betongdekkekonstruksjon vil tillate byggfukt fra betongen å vandre inn i takkonstruksjonen.
- Det er viktig å hindre fukt i å komme inn i taket under byggingen.
- Det er viktig å unngå at fukt fra regn og snø ikke lukkes inne i isolasjonssjiktet.
- Forskjellen mellom dampsperre av 0,2 mm PE-folie og for eksempel 0,8 mm PVC er at PE-folien er mer damptett, mens sveiset PVC-belegg vil bli mest lufttett.
- Asfalt takbelegg er mer damptett en takfolie og vil gi mindre uttørking utover.
- Isolasjonstykkelse og type isolasjon påvirker uttørkingsforløpet i liten grad.
- Lys tekking gir mindre uttørking innover enn mørk tekking.
- Sørvendte, hellende tak gir større uttørking innover enn nordvendte eller flate tak.
- Kystklima gir mindre mulighet for uttørking enn innlandsklima.

6.1 Valg av dampsperre

Dampsperrrens viktigste funksjon er å hindre at fukt trenger innefra og ut i tak ved diffusjon og luftlekkasjer, samt sammen med takbelegget hindre varmetap og bidra til bygningens lufttetthet.

Det bør alltid legges en dampsperre mellom isolasjonen og bærekonstruksjonen. Polyetylenfolie med omlegg som legges løst i skjøtene, kan vanligvis benyttes på massive betongdekker og på bygningsplater med tette skjøter. Mens over bærekonstruksjoner som ikke er lufttette, som for eksempel stålplater, bør dampsperra ha limte eller sveiste skjøter for å hindre luftlekkasjer. Også over lokaler med spesielt høyt fuktinnhold, må dampsperra ha limte eller sveiste skjøter uansett bærekonstruksjon (Geving and Thue, 2002).

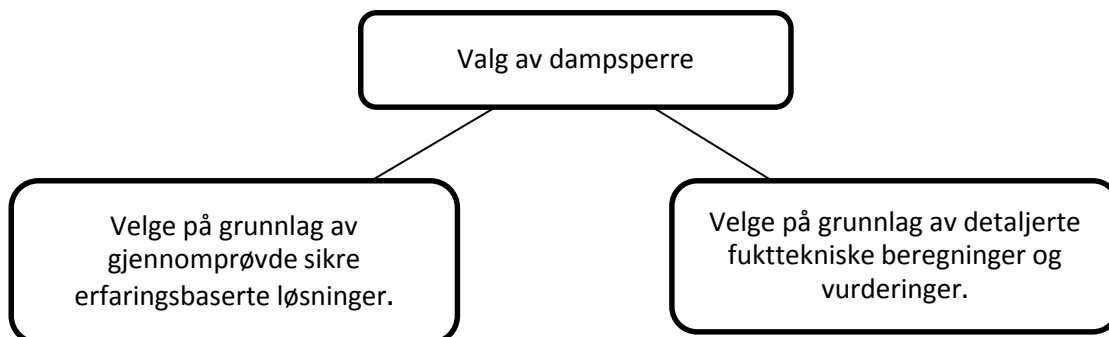
Dampsperrrens vanndampmotstand har en benevnning kalt s_d – verdi som betyr ekvivalent luftlagstykkelse. Det vil si hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme diffusjonsmotstand som materialsjiktet. Det anbefales for generell bruk i bygningskonstruksjoner å ha en s_d – verdi på større eller lik 10 m (SINTEF, 2003a). Se Tabell 6 for noen eksempler på s_d – verdier på noen dampsperrertyper.

Type	Tykkelse [mm]	Vanndampmotstand målt mellom to luftfuktnivåer (50-94 % RF) Ekv. Luftlagstykkelse, s_d [m]
Polyetenfolie	0,15	70
Polyetenfolie	0,20	90
PVC-folier (mykgjort)	1,2	14-20
Butylfolier	0,5	175
Asfalt takbelegg med stamme av Polyesterfilt	2,5/4	60/100

Tabell 6: Vanndampmotstand for noen dampsperrertyper (SINTEF, 2003a).

Polyetylenfolie, PE-folie, er det mest brukte materialet til dampsperre i dag (Noreng and Hisdal, 1996). I kompakte tak anbefales det å bruke 0,2 mm PE-folie da denne har god motstand mot punkteringer og skader (Noreng and Hisdal, 1996). Det kan være aktuelt med andre typer dampsperrer med større mekanisk styrke en PE-folier i kompakte tak, eller dampsperrer som er sveisbare og gir større lufttetthet. De mest aktuelle vil være asfalt takbelegg, PVC eller butyl (Noreng and Hisdal, 1996).

Ved valg av dampsperre og utførelse av dampsperra, kan man velge på grunnlag av gjennomprøvde sikre erfaringsbaserte løsninger eller velge på grunnlag av detaljerte fukttekniske beregninger og vurderinger (se Figur 39).



Figur 39: Figuren viser to veier man kan gå når type dampsperre og utførelse skal velges (Noreng, 1995).

Detaljerte fukttekniske beregninger og vurderinger kan gjøres ved hjelp av beregningsprogrammer, som for eksempel beregningsprogrammet MATCH (MATCH, 2003), som foretar en en-dimensjonal beregning av endringer i fuktinnholdet i konstruksjonen på grunnlag av diffusjon (Noreng, 1995).

Ved valg av dampsperre på grunnlag av gjennomprøvde sikre erfaringsbaserte løsninger, må man ta hensyn til innvendig luftfuktighet og temperatur, innvendig trykk under taket, type bæresystem og uteklima (Geving and Thue, 2002) (Noreng and Hisdal, 1996). Vedlegg C – Tabeller for dimensjonering av dampsperre, inneholder tabeller som kan brukes for å finne nødvendig dampsperrreløsning. Bruk Tabell 8 til å finne sum belastningspoeng og bruk disse til å finne risikoklasse og nødvendig dampsperrreløsning i Tabell 9.

Tabellene er i seg selv ganske selvforklarende. Når du vet laveste månedsmiddeltemperatur, kan verdiene i punkt P1 i Tabell 8 hentes direkte fra tabellen i Tabell 10. Punkt P4 hentes fra tilgjengelige tabeller om laveste månedsmiddeltemperatur, mens punkt P2 må beregnes.

Ekstra god dampsperre blir kalt takfuktsperre, og angir et sperresjikt med bedre mekanisk styrke og også muligheten for sveiste skjøter og tilslutninger. For å oppnå en fungerende konstruksjon, er det viktig å planlegge konstruksjonsoppbyggingen med hensyn på det utførende arbeid og å velge løsninger og utførelser som minsker risikoen for innbygging av fuktighet gjennom nedbør og byggfukt. Utettheter i dampsperra oppstår vanligvis der det er komplisert å få til et kontinuerlig tett tettesjikt, som ved overgang tak/vegg, gjennomføringer, rundt innfelte lysarmaturer, i tilslutninger ved hovedbæresystem, ved åpne omleggsskjøter i dampsperra, ved sprang i tak- og veggplanet, i overganger mellom ulike konstruksjoner og når omleggsskjøter bare klemmes med panelbord (Noreng and Hisdal, 1996).

For å oppnå god lufttetthet i takkonstruksjonene må følgende retningslinjer følges (Noreng and Hisdal, 1996):

- Plasser hovedbæresystemet, søyler og bjelker i sin helhet, inne i bygningen. Konstruksjonsdelene blir dermed liggende i et stabilt inneklima. Varmeisolasjon og dampsperra kan da føres kontinuerlig forbi hovedbæresystemet.
- Bruk ikke tynnere enn 0,15 mm, helst 0,20 mm, plastfolie.
- Betrakt dampsperra mest som et lufttettende sjikt. For takkonstruksjoner der det er mulig, bør skjøtene klemmes med egen klemløst med skrue-/spikeravstand c/c 150 mm.
- Planlegg med mest mulig plane, ensartede flater uten sprang som krever vanskelige skjøter og oppdeling av dampsperra.
- Sørg for kontinuitet i dampsperra i overgang mellom yttervegg og tak.
- Unngå punktering av dampsperra. Legg elektriske anlegg, armaturer, kabler, rør, øvrig utstyr og kanaler i nedforingen på undersiden av dampsperran. Det gjør at det ikke er nødvendig å ta hull på dampsperran.

Det anbefales alltid å legge dampsperra, da framtidige bruksendringer kan gi større fuktbelastninger. I de fleste vanlige bygninger kan dampsperra av PE-folie benyttes. Takfuktsperre bør benyttes i bygninger med stor fuktbelastning, som for eksempel svømmehaller, garderobeavdelinger, vaskerier, osv. (Noreng, 1995).

6.2 Valg av Taktekking

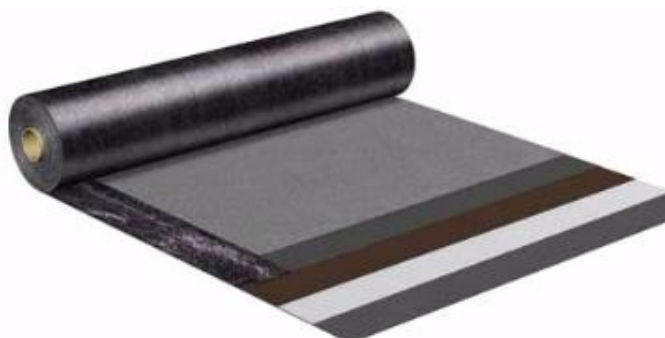
Taktekningen sin hovedfunksjon er å beskytte konstruksjonen mot klimapåkjenninger. Derfor er det viktig at tekningen er tilstrekkelig tett, har tilstrekkelig styrke og god bestandighet over lang tid (SINTEF, 2011a, SINTEF, 2011b).

Flate og svakt skrånende kompakte tak bør tekkes med asfalttakbelegg eller takfolie med sveiste skjøter (SINTEF, 2007a).

Det er viktig å planlegge tekkearbeidene og gjøre beskyttelsestiltak der det er nødvendig, både for asfaltbelegg og takfolie. Gnister fra sveising eller perforering fra skarpe gjenstander kan skade takbelegget, både under arbeid og senere. Derfor må man unngå unødvendig ferdsel på taket, fjerne alle fremmedlegemer og dekke til tekningen med egnet beskyttelse der arbeidene pågår (SINTEF, 2011a, SINTEF, 2011b).

På flate tak kan tekningen bli utsatt for stående vann, og isdannelser i kortere eller lengere perioder, spesielt i nærheten av nedløp på grunn av snø smelter i en viss avstand fra sluket som fører til isdannelse ved varierende temperaturforhold og dermed oppdemning av vann. Derfor må tekningen tåle vanntrykk og isskuring, og aktuelle tekninger er basert på asfaltbelegg og takfolie med sveiste skjøter (Geving and Thue, 2002).

6.2.1 Asfalttakbelegg



Figur 40: Illustrasjonsbilde av asfalt takbelegg (icopal, 2015).

Asfalttakbelegg er oppbygd av en bærende fiberstamme som er impregnert med asfalt på begge sider. Fra ca. 1970-tallet er det blitt vanlig å bruke enten polyesterstamme eller kombistamme, der polyesterstamme gir belegget størst mekanisk styrke. Siden midten av 1980-tallet er det blitt vanlig å bruke elastomerasfalt eller plastomerasfalt, som er asfalt modifisert med høypolymere materialer. Dette gjør at asfalttakbelegget blir mer fleksibelt og kan tåle temperaturbevegelser uten å sprekke. Ofte blir beleggets overflate strødd med skiferkorn, noe som beskytter belegget mot UV-stråling og gir mekanisk beskyttelse (SINTEF, 2004).

Asfalttakbelegg deles gjerne opp i 3 typer (SINTEF, 2004):

- Underlagsbelegg: Brukes i flerlagssystemer og er som regel det tynneste sjiktet.
- Overlagsbelegg: Er det øverste laget i flerlagssystemer og har ofte skiferkorn strødd på oversiden.
- Ettlagsbelegg.

Fra slutten av 1980-tallet og til i dag er det tolagssystemer og ettlagsystemer som er mest benyttet (SINTEF, 2004). Ettlagsbelegg er noe mer sårbar for menneskelig feil og mekaniske skader enn tolagsbelegg, men selve takbeleggets kvalitet er mer enn god nok til at ettlagsbelegg fungerer tilfredsstillende (Geving, 2011).

Asfalttakbelegg brukes til tekking av både flate og skrå kompakte tak og kan være både ballastert, mekanisk festet eller klebet. Det er viktig å planlegge taktekkingsarbeidet slik at isolasjonen og tekningen holdes tørr under utførelse. I sterk kulde bør også beskyttelse vurderes for å unngå sprekker i belegget (SINTEF, 2011a).

Vanndampmotstanden til ettlags asfalttakbelegg med tykkelse på ca. 4-5 mm har en s_d -verdi på omtrent 100 m (SINTEF, 2011a).

Til mekanisk innfestning brukes belegg med god mekanisk styrke og polyester- eller kombistamme og belegget må være beskyttet mot UV-stråling. Til ballasterte tak brukes helst asfalttakbelegg med kombistamme, som gir god dimensjonsstabilitet og har gode mekaniske egenskaper. Belegget bør ha god punkteringsmotstand og tøyelighet. Til klebning brukes asfaltbelegg med polyesterstamme eller kombistamme. Bruk av primer bedrer heften og kan være en forutsetning for noen bruksområder (SINTEF, 2011a).

6.2.2 Takfolie



Figur 41: Illustrasjonsbilde av taktekking med takfolie (Protan, 2016).

Takfolier er oppbygd av enten termoplastiske eller elastomere materialer og med eller uten armering med forskjellig tykkelse, alt etter bruksområde. I Norge har det vært mest vanlig å benytte PVC-folier (polyvinylklorid) siden begynnelsen av 1970-tallet. Takfolier kan inneholde forskjellige tilsetninger som gjør dem myke, bestandige mot UV-stråling, bestandige mot høye temperaturer og brannhemmende (SINTEF, 2004).

Takfolie av PVC med en tykkelse på 2,0-2,4 mm har en s_d -verdi på omkring 37 m (SINTEF, 2003c). Dette vil blant annet si at takfolie vil ha en bedre uttørkingsevne utover enn asfalttakbelegg.

Takfolie brukes både på flate og skrå kompakte tak, men også i forskjellige terrassekonstruksjoner som omvendte tak eller duotak. Til mekanisk innfestet takbelegg bør det benyttes folietyper med god mekanisk styrke som armert PVC eller fleksible polyolefiner, men takfolien må ha tilsatt stabilisatorer for å gjøre produktet brannhemmende, bestandig mot høye og lave temperaturer og ultrafiolett stråling. Til tak med ballast, og innbygging i konstruksjoner, benyttes takfolie som er armert med glassfilt og tilsatt stabilisatorer. Folien bør ha god punkteringsmotstand og en tykkelse på minst 1,5 mm (SINTEF, 2011b).

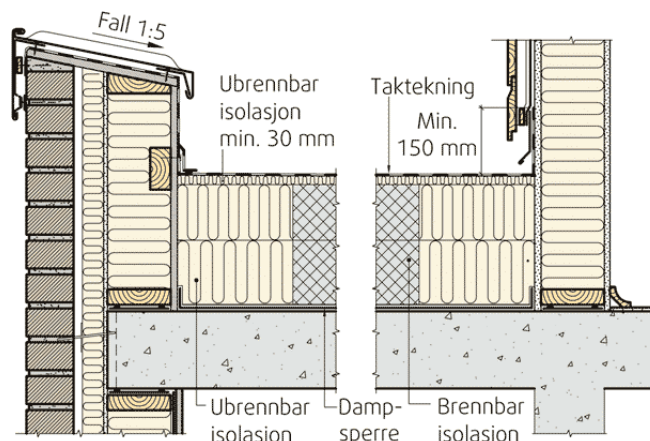
6.2.3 Detaljer

Det er viktig å planlegge alle utførelsesdetaljer for å unngå improviserte/ikke-prosjekterte løsninger som ofte blir uheldige. SINTEF Byggforsk beskriver detaljer som trenger spesielle hensyn (SINTEF, 2008):

- Utstyr som blir montert på taket, er årsak til at en rekke skader oppstår, ofte like etter at byggearbeidene er avsluttet. Plassering og monteringsbehov for eventuelle reklameskilt, antenner, tekniske installasjoner, kabelgater, osv. samt etablering av eventuelle gangbaner for å beskytte takbelegget mot trafikk, bør være avklart på forhånd.
- Gjennomføringer på taket må ikke plasseres i renner, men plasseres så nærme høybrekk som mulig. For øvrig må gjennomføringene plasseres med avstand på minst 300 mm til parapet, vegg eller andre gjennomføringer, slik at taktekkeren får mulighet til å utføre tekkearbeidet skikkelig.
- Overgangsløsninger mellom tak og vegg ligger på skadetoppen for fuktskader. For å bedre på dette må føringen av takbelegg og tildekking med beslag både på parapet og på tilstøtende vegg vies spesiell oppmerksomhet.
- Beslag må monteres så snart takbelegget er lagt, slik at det ikke trenger inn vann. Hvis dette ikke er mulig, må detaljene dekkes til.
- I de tilfeller hvor arbeidene på taket vil fortsette etter takbelegget er lagt, må belegget tildekkes eller på en eller annen måte beskyttes godt for å unngå skader og senere lekkasje problemer.
- Det må være atkomst til taket for senere tilsyn og vedlikeholdsarbeider, fortrinnsvis gjennom dør eller luke. Slik atkomst skal holdes stengt for å unngå uønsket trafikk på taket.

6.3 Oppkanter, parapeter, gjennomføringer og beslag

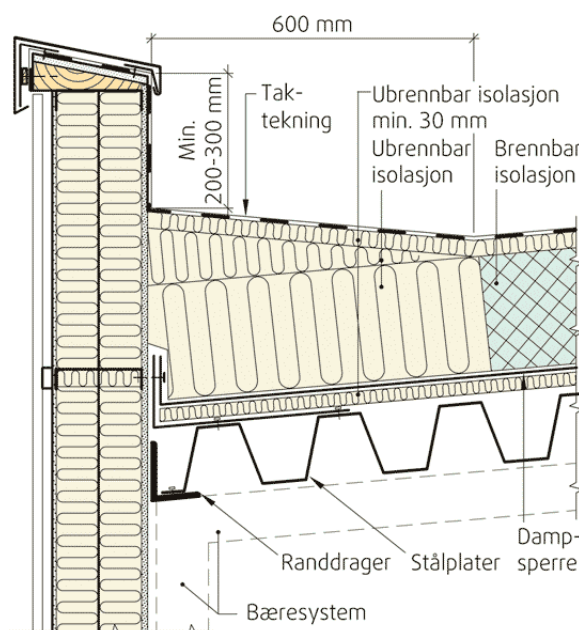
Oppkanter på takbelegg mot tilstøtende konstruksjoner skal være vanntette i en høyde av minst 150 mm, og avsluttes bak vindsperre på vegg og klemmes (se Figur 42) (SINTEF, 2007a).



Figur 42: Figuren viser eksempel på utførelse av beslag, avslutning av taktekning med oppkant, dampsperre og bruk av brennbar isolasjon (SINTEF, 2007a).

6.3.1 Parapeter

Kompakte tak bør alltid utføres med parapet, og hvis taket belastes med et løst lag singel eller annen ballast, bør parapeten være på minst 300 mm. På tak med eksponert taktekning, bør parapeten ha en høyde på minst 200-300 mm over ferdig isolert og teknet overflate, samt ha fall på ca. 1:5 innover på toppen (se Figur 43). Tak med fall på 1:40 og en avstand på 8 m fra parapet til sluk eller renne, vil gi en isolasjonstykkelse på 400 mm ved parapet. Da må overkanten av parapet ligge 600-700 mm over overkanten av dekket. Taktekingen føres opp på og over parapeten med en klemt og lufttett avslutning (SINTEF, 2007a).



Figur 43: Figuren viser eksempel på utførelse av beslag, avslutning av taktekning, dampsperre og bruk av brennbar isolasjon (SINTEF, 2007a).

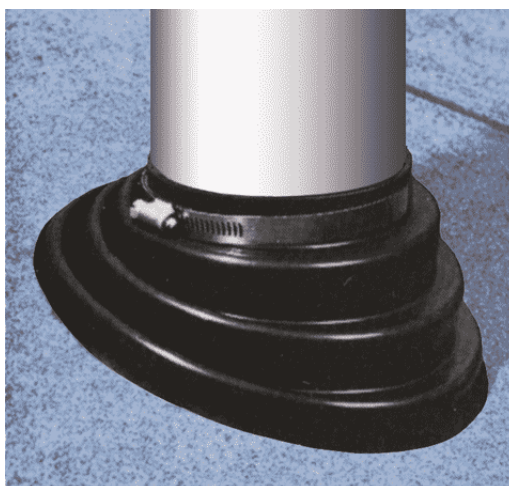
Når dampsperra avsluttes som visst i Figur 43, sikres det en viss selvuttørkingsevne av taket via parapeten, hvis parapeten har dampåpen vindsperre på utsiden (SINTEF, 2007a).

6.3.2 Gjennomføringer

Gjennomføringer i taket må plasseres bort fra steder der stående vann kan opptre, og da helst plasseres i høybrekkene. Gjennomføringer må også plasseres med en avstand på minst 300 mm fra vegg/parapet eller andre gjennomføringer slik at det er mulig for tekkeren å utføre inntekningen (SINTEF, 2007a).

Rørgjennomføringer tettes ved at takbelegget blir ført helt opp og brettes over toppen av røret, og eventuelt med en takhatt på toppen av røret. På rørgjennomføringer som er høye, er det tilstrekkelig å avslutte inntekningen minimum 150 mm opp på røret for så å tette med klemring og tettemasse mellom takbelegget og røret (SINTEF, 2008).

Ved bruk av asfalttakbelegg, kan et alternativ til inntekning av rørgjennomføringer være bruk av prefabrikkerte mansjetter (se Figur 44). Mansjetten må monteres på en slik måte at det ikke dannes bretter som skader mansjetten, samt lommer med stående vann som kan føre til lekkasjer (SINTEF, 2008).



Figur 44: Bruk av prefabrikkert mansjett for tetting av rørgjennomføringer (SINTEF, 2008).

Dampsperre mot rørgjennomføringer utføres med så tett tilslutning som mulig og avsluttes med teiping (SINTEF, 2008).

6.3.3 Beslag

Beslag fungerer som en regnskjerm i en totrinns tetning og må utføres slik at beslaget skjerner mot inndrev av snø eller slagregn, samt ha en effektiv dryppkant i en avstand på minimum 20 mm fra vegglivet (se eksemplene i Figur 42 og Figur 43). Parapetbeslag må ha stående stangfalsler (SINTEF, 2007a).

6.4 Varmeisolasjon

Kravet til U-verdi for tak og takterrasser er $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, men kan fravikes hvis andre energiltak kompensere for økt energibehov, eller at netto energibehov ligger innenfor rammekravet. Minstekravet til U-verdi for tak er imidlertid $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og skal ikke overskrides (TEK10, 2016).

For å unngå kondens, må man minimum ha en isolasjonstykkelse på 50 mm, men av hensyn til energibruk og for å unngå kuldebroer er det ønskelig med minst 100 mm tykk isolasjon, også ved sluk (SINTEF, 2007a).

Aktuelle isolasjonsmaterialer for kompakte tak er ubrennbar isolasjon av steinull og skumglass, brennbar isolasjon av ekspandert polystyren (EPS) eller ekstrudert polystyren (XPS) og isolasjon med veldig lavt eller lavt fuktopptak som skumglass eller XPS. På kompakte tak må varmeisolasjonen tåle tråkk. Ved takarbeider bør det legges ut midlertidig beskyttelse mot gjentatt tråkking. Med hensyn til jevnt fordelt last anbefales isolasjon med trykkfasthet minst klasse CS(10)60, som vil si 60 kPa (kN/m^2) ved 10 % deformasjon. For mekanisk festet takbelegg med hensyn til punktlast anbefales isolasjon med trykkfasthet minst klasse FL(5)500, som vil si 500 N ved 5% deformasjon (SINTEF, 2007a).

6.4.1 Isolasjon i rettvendte tak

I rettvendte kompakte tak er det mest aktuelt med EPS, steinull eller en kombinasjon av disse. Nødvendige isolasjonstykkelser for å oppnå ulike U-verdier er vist i omfattende tabeller i Byggedetaljer 471.013 (SINTEF, 2003b).

Isolasjonsplater i rettvendte tak må ikke bli utsatt for fukt under lagring eller etter de er lagt på taket. Eventuelle fuktige plater må skiftes ut før tekkingen av taket er ferdig (SINTEF, 2007a).

6.4.2 Isolasjon i omvendte tak og duotak

I omvendte tak og duotak må det alltid brukes isolasjon med lukket cellestruktur og lavt fuktopptak (XPS) når isolasjonen ligger over membranen. Omvendte tak kan ha behov for et beskyttelsessjikt av filterduk over isolasjonen for å hindre partikler i å komme ned til membranen (SINTEF, 2007a).

6.5 Fallforhold og avrenning

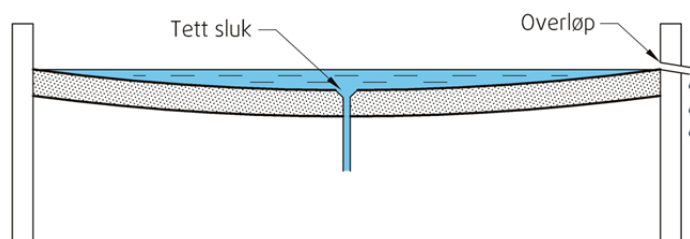
Siden snø på kompakte tak kan smelte på grunn av varmegjennomgangen fra innsiden, må smeltevannet ledes bort ifra taket på en forsvarlig måte. Det vil si at innvendige nedløp og sluk plassert i en lokal forsinking er den beste løsningen (SINTEF, 2007a).

For å oppnå god avrenning fra takflaten kreves det (SINTEF, 2007a):

- Fall på minimum 1:40 på ferdig takflate, hvor eventuell nedbøyning er medberegnet.
- Fall på minimum 1:60 i renner og kilrenner.
- Isfrie renner og sluk. Oppnås ved for eksempel å lage lokale forsinkinger som gir større varmegjennomgang og snø/is-smelting.
- Nøye planlagt slukplassering og slukantall. Sluk må legges i lavpunktene og aldri ved søyler, bjelker eller lignende.
- Nødoverløp (se Figur 45).
- Plassere gjennomføringer utenfor lavpunkter og kilerenner og helst i høybrekkene.

I punkt 5.1 beskrives manglende fall som en mulig årsak til fuktskader inne i takkonstruksjonen, ved at stående vandammer oppstår på grunn av regn og snøsmelting. Siden tak med godt fall vil oppleve bare små lekkasjer på grunn av utettheter i tekningen, er det viktig å ha et godt fall på tak og renner og å sørge for at det ikke finnes hindringer for effektiv avrenning i lavbrekk og i renner. Man kan utbedre manglende fall ved å legge inn skråskåret isolasjon, og tekke taket på nytt for å øke fallet på taket (SINTEF, 2012).

I punkt 5.3 beskrives hindret avrenning som en mulig årsak til vannopsamling på taket. Ved å ha overløp i takkonstruksjonen, er det lettere å oppdage problemer med store vannansamlinger på taket på grunn av for eksempel tett sluk (se Figur 45).



Figur 45: eksempel på tett sluk som fører til store vannsamlinger på tak. Et overløp vil raskere synliggjøre problemet (SINTEF, 2012).

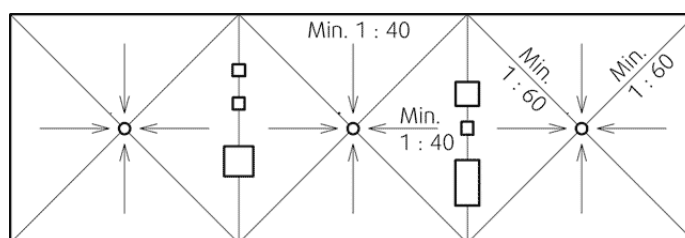
I punkt 5.4 beskrives utvendige nedløp som en uheldig løsning til kompakte takkonstruksjoner. For å utbedre uheldig avrenning på grunn av utvendig nedløp, kan følgende tiltak vurderes (SINTEF, 2012):

- Ombygging til innvendig nedløp.
- Ombygging til kaldt eller luftet tak.
- Installere varmekabler i renner og nedløp for å unngå frysing.

Bakdelen ved å legge varmekabler i renner og nedløp, er at i praksis kan dette skaper mer problemer ved for eksempel feildimensjonering, feilplassering og de kan være avslått. Er også en ugunstig løsning med tanke på energi (Geving, 2011).

6.5.1 Flate tak

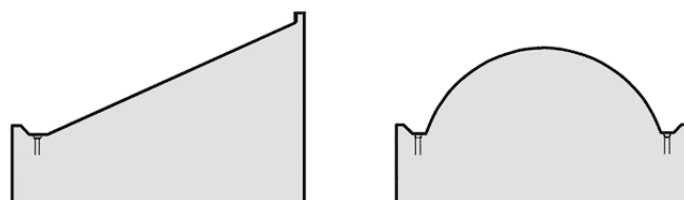
På flate tak kan fallet bygges opp med skråskårne plater av polystyren eller mineralull, enten som tosidig fall mot renne eller som firesidig fall mot sluk (se Figur 46). I enkelte tilfeller kan man også legge selve bærekonstruksjonen med fall mot en horisontal renne, og deretter lage fall i renna med kiler av polystyren eller mineralull (SINTEF, 2007a).



Figur 46: Eksempel på firesidig fall mot sluk der alle gjennomføringer er plassert i høybrekkene (SINTEF, 2007a).

6.5.2 Skrå tak

På skrå tak må man også vanligvis ha innvendige nedløp for å unngå isproblemer (se Figur 47). Innvendige nedløp kan eventuelt sløyfes på for eksempel buetak eller på byggesteder der klimadata tilsier at snø ikke blir liggende. Renner ved gesims bør ha fall på minimum 1:60, som kan bygges opp med skråskårne isolasjonsplater. Det kan også være nødvendig å montere snøfangere (SINTEF, 2007a).



Figur 47: Eksempel på et pulttak og et buetak som begge har innvendige nedløp (SINTEF, 2007a).

6.6 Overgang mot sandwichelementer

Sandwichelementer er mye benyttet i fryserom, kjølerom, laboratorierom, lagerrom og tørkerom. Sandwichelementer benyttes også i yttervegger, himlinger og tak i lagerbygninger, industribygninger og kontorbygninger. Hvilke type bygninger sandwichelementene kan benyttes til, og hvilke materialer og elementtyper som kan brukes, bestemmes i henhold til krav til brannsikkerhet. Det skilles mellom sandwichelementer med brennbar og ubrennbar isolasjon og med ulike materialer i yttersjiktet. Sandwichelementer er vanligvis ikke bærende og festes som regel til et hovedbæresystem (SINTEF, 2007c).

Utfordringen med sandwichelementer av stål, er de utvider seg forskjellig på utvendig og innvendig side ved vekslende vind og soloppvarming, noe som resulterer i at elementene krummer seg. Etter NS 14509 (NS-EN-14509:2013) tillates det en maksimal deformasjon på L/100 (L står for spennvidden). Ved sommerstid kan det være så store bevegelser i temperaturforskjell at man må ta spesielle hensyn ved valg av innfestinger, føring av dampsperr og takbelegg, samt bruk av fleksibel isolasjon (Noreng, 2015).

For å oppnå en vellykket overgang mellom sandwichelementer og taket, bør følgende punkter tas hensyn til i prosjekteringsfasen (Noreng, 2015):

- Beregne forventet utbøying av elementet.
- Avklare hvem som er ansvarlig for å utføre og levere nødvendige understøttelser og overgangsbeslag, samt sammenføyninger mellom disse og sandwichelementene og takplatene.
- Tildekke værutsatte og ubeskyttede kanter på sandwichelementer slik at fukt ikke kan trenge inn i elementene i byggeperioden.
- Utføre nødvendig tetting og isolering av fuger mellom elementskjøter, også opp forbi og over tak.
- Dampsperra må bli ført forbi overgangen og festet på en måte som tilfredsstiller kravene til damptetthet og lufttetthet, både på lang og kort sikt (dampsperra monteres tett med noe slak for å unngå at den rives løs av bevegelser).
- Overgangen isoleres slik at isolasjonen kan følge sandwichelementenes bevegelser uten å skape kuldebroer og risiko for kondens.
- Utføre takteking slik at man begrenser omfanget av folder på taket som kan gjøre avrenning fra taket vanskelig.
- Planlegge hvordan taktekingen skal festes til elementene.
- Se til at krav til materialbruk og tetthet tilfredsstillers brannkrav.

Følgende bildeserie fra Figur 48 til Figur 51 viser eksempler på noen uheldige løsninger.

Figur 48 viser et bilde av en parapet som ikke er klar for inntekking. Taktekkeren har startet på dette tidspunktet, selv om det er ufullstendig utførelse av sprang og skjøter. Det er heller ikke noe tildekning i overkant av sandwichelementene for å hindre at fukt kan komme inn i elementet. En slik uferdig løsning kan gi utettheter og dermed framtidige vannlekkasjer og luftlekkasjer. Det må tildekkes på toppen og isoleres i elementskjøtene. I dette tilfellet må entreprenør sørge for at nødvendig fuging, isolering, tetting og tildekning mot fukt fra nedbør i byggefasen blir gjort i rett tid (Noreng, 2015).



Figur 48: Bildet viser ufullstendig sprang og skjøter mellom elementene (Noreng, 2015).

Spalten som vises på bildet i Figur 49 burde har vært dyttet med isolasjon og tettet for å unngå kuldebro, samt vannlekkasjer og luftlekkasjer. I dette eksempelet må det avklares hvor ansvaret ligger for å unngå slike mangler (Noreng, 2015).



Figur 49: Bildet viser en stor spalt ved sammenføring i et ytterhjørne (Noreng, 2015).

Bildet på Figur 50 viser en stor spalt mellom to sandwichelementer i yttervegg og parapet. Sandwichelementene er heller ikke tildekket i overkant, slik at fukt kan komme inn i elementet. Elementmontør har her ansvar for å isolere og tette fuger, samt å montere avdekningsbeslag på topp av øverste sandwichelement (Noreng, 2015).



Figur 50: Bildet viser stor spalt mellom to elementer som heller ikke er tildekket mot fuktinntrengning (Noreng, 2015).

Bildet på Figur 51 viser en gjennomgående luftespalte fra innvendig varmt rom og rett ut. Dette vil føre til fare for kuldebro og kondens på grunn av for dårlig tilpasning mellom T-profil og platen i sandwichelementet. Her må elementmontør sikre lufttetthet ved tetting med gummilist, og dette må skje som en del av elementmontasjen (Noreng, 2015).



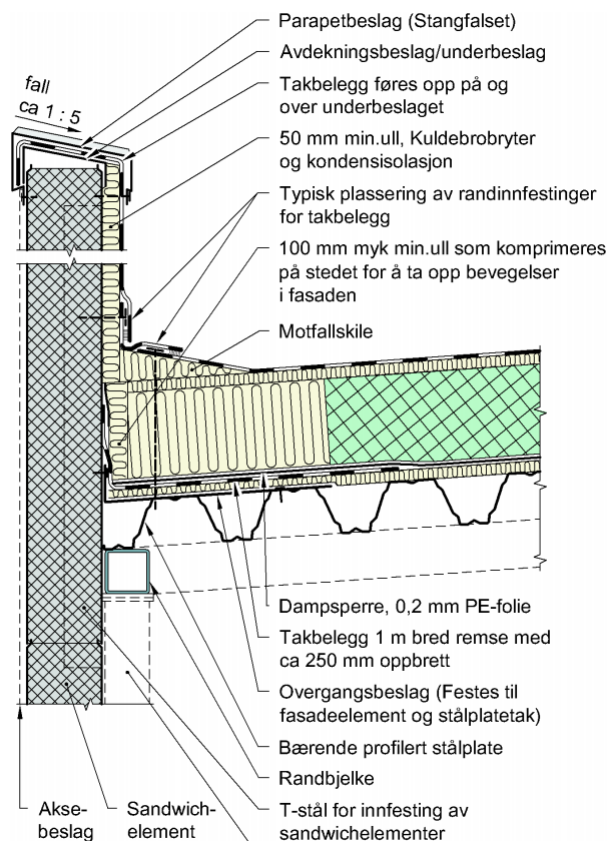
Figur 51: Bildet viser parapeten sett ovenfra med bærende stålprofil (Noreng, 2015).

Både sandwichelementer og takelementer eller plassbygd tak, levers i henhold til Byggeteknisk forskrift. For å unngå kuldebroer, kondens eller takdrypp er det likevel viktig å følge opp detaljer gjennom både planlegging og utførelse slik at endelig løsning blir vellykket (Noreng, 2015).

Alle fuger i gjennomføringer, sammenføyninger og skjøter må være både lufttette, regntette og damptette. De horisontale elementskjøtene blir normalt tilfredsstillende og er sjeldent et problem. De vertikale skjøtene må planlegges forbi takkonstruksjonen og opp på parapet, og utføres med omhu (typiske mangler er visst i Figur 48 til Figur 51). De vertikale skjøtene på utvendig side, må suppleres med tettebånd og tildekkingsbeslag i tillegg for å få en tilfredsstillende tetthet. Siden sandwichelementer med yttersjikt av metallplater har liten selvuttørkingsevne, må man unngå byggfukt ved å tildekke elementkantene i byggeperioden (Noreng, 2015).

I vedlegg E, G og F er det gitt oppskriftsformet forslag til løsninger for overgangen mellom tre forskjellige konstruksjoner av kompakte tak og sandwichelementer med yttersjikt av tynne stålplater. Det anbefales alltid å ha sluttkontroll av elementmontasjen før montørene forlater byggeplassen og taktekingen starter. De vedlagte løsningene bør ikke benyttes i bygg med høy innvendig fuktbelastning, som for eksempel svømmehaller, uten at dampsperre og fuktsikre løsninger er viet spesiell oppmerksomhet under bygging og prosjektering (Noreng, 2015).

6.6.1 Kompakte tak på bærende stålplater mot fasade av sandwichelement

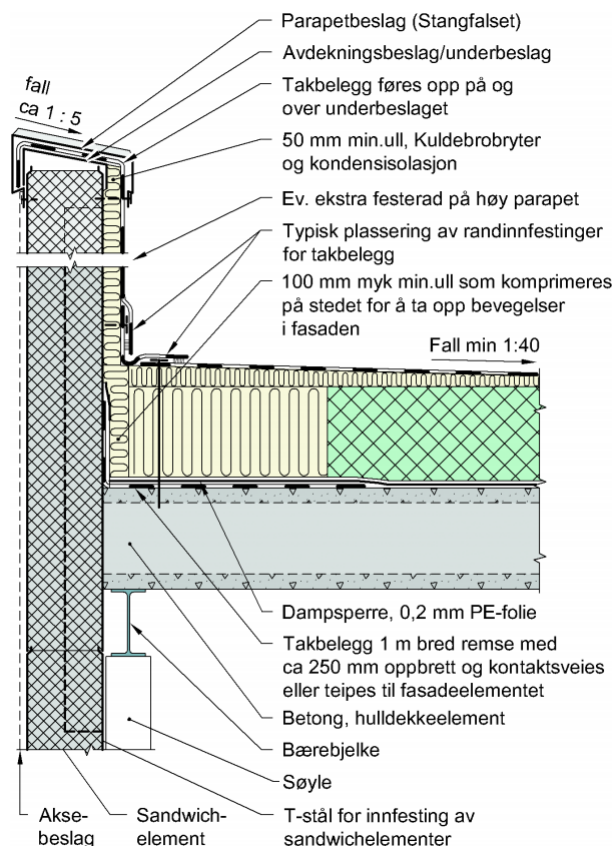


Figur 52: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelement og plassbygd, isolert stålplatetak (Noreng, 2015).

Figur 52 viser et forslag til løsning på overgang mellom sandwichelement med ytersjikt av stålplater og kompakt tak på bærende stålplate. På stålplatene inn mot sandwichelementet er det montert et overgangsbeslag som understøtter varmeisolasjonen. Det er lagt isolasjonsplate direkte på den profilerte takplaten og 1 m bred remse med takbelegg direkte på isolasjonsplaten som har en ca. 250 mm oppbrett på sandwichelementet. 0,2 mm PE-folie er valgt som dampspærre og legges over isolasjonsplaten og banen med takbelegg. Parapet er isolert på siden mot taket med 50 mm mineralull for å motvirke kuldebro og kondens. Motfallskile er montert for å lage fall bort fra parapet. Det er brukt ubrennbar isolasjon i henhold til de branntekniske hensyn (TPF, 2011). 100 mm fleksibel mineralull er lagt inn mellom parapeten og takisolasjonen slik at denne fleksible isolasjonen kan følge sandwichelementenes temperaturebevegelser og vindbevegelser. Takbelegg er randinnfestet og ført opp på og over parapet med parapetbeslag montert over. Aksebeslag er montert for å tildekke vertikale skjøter i elementfasaden (Noreng, 2015).

Foreslått løsning bør ikke benyttes i bygninger med høy innvendig fuktbelastning, uten at dampspærre og fuktsikre løsninger er viet spesiell oppmerksomhet (Noreng, 2015).

6.6.2 Kompakte tak på betongelementer mot fasade av sandwichelement

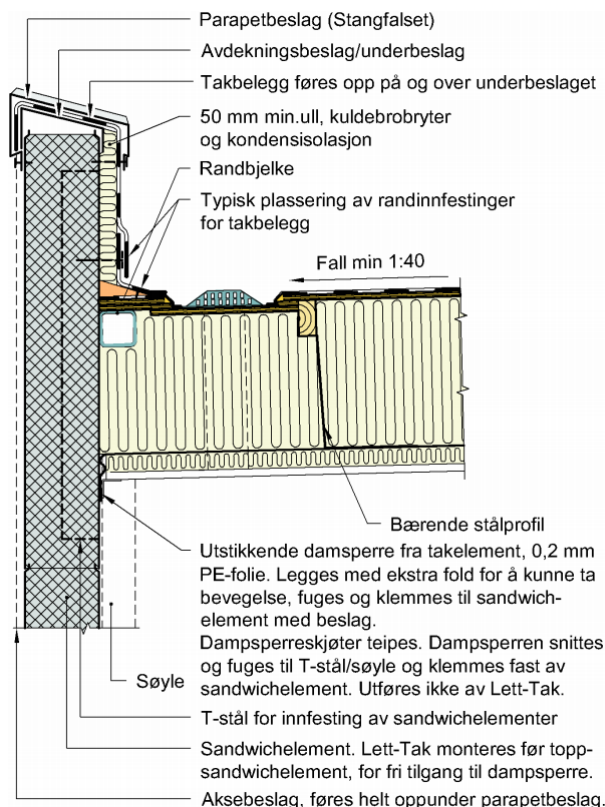


Figur 53: Forslag til løsning på overgang mellom fasade av sandwichelement og kompakt tak på betongelementer (Noreng, 2015).

Figur 53 viser et forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer med yttersjikt av stålplater og kompakt tak på betongelementer. 1 m bred bane med takbelegg med ca. 250 mm oppbrett på fasadeelementet, er lagt direkte på betongelementet. 0,2 mm PE-folie er valgt som dampspærre og er lagt ut på takflaten over banen med takbelegg. Det er brukt ubrennbar isolasjon der dette kreves i henhold til de branntekniske krav (TPF, 2011). 100 mm fleksibel mineralull er lagt inn mellom parapeten og takisolasjonen, slik at denne fleksible isolasjonen kan følge sandwichelementenes temperaturbevegelser og vindbevegelser. Parapet er isolert på siden mot taket med min. 50 mm mineralull for å motvirke kuldebro og kondens. Takbelegg er randinnfestet og ført opp på og over parapet med parapetbeslag montert over. Taket er utført med fall på min. 1:40 mot sluk. Aksebeslag er montert på elementfasaden for å tildekke vertikale skjøter (Noreng, 2015).

Foreslått løsning bør ikke benyttes i bygninger med høy innvendig fuktbelastning, uten at dampspærre og fuktsikre løsninger er viet spesiell oppmerksomhet (Noreng, 2015).

6.6.3 Takelement mot fasade av sandwichelement



Figur 54: Forslag til løsning på overgang mellom fasade av sandwichelementer og takelementer (Noreng, 2015).

Figur 54 viser et forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer med ytersjikt av stålplater og takelementer. Utstikkende dampspærre fra takelementet er lagt med ekstra fold ved klemlist for å kunne ta opp bevegelsene til sandwichelementet uten å slites løs. Dampspærreskjøter er teipet og supplert med skumming for å være varig tette. Parapet er isolert med 50 mm mineralull på siden mot taket for å motvirke kuldebro og kondens. Parapet er tekket med takbelegg som er sammensveiset med tekningen på takelementet. Takbelegget er ført opp på og over parapet med parapetbeslag montert over. Takkonstruksjonen er utført med fall på min. 1:40 mot sluk. Aksebeslag er montert på elementfasaden for å tildekke vertikale skjøter (Noreng, 2015).

Det er ikke anbefalt å benytte takelementer i bygninger med høy innvendig fuktbelastning på grunn av trematerialer inne i takkonstruksjonen vil være fuktømfintlig (SINTEF, 2007a).

7 Case: Jekta storsenter

Jekta storsenter er et kjøpesenter lokalisert på Langnes i Tromsø. Jekta storsenter er det største kjøpesenteret i Nord-Norge og inneholder over 130 butikker (Jekta, 2016). Nybygget inneholder 43 401 kvm forretningslokaler, 23 400 kvm parkeringskjeller og et nytt parkeringshus på 9 811 kvm. Nybygget knytter sammen de opprinnelige kjøpesentrene Jekta øst og Jekta vest, og er på totalt 25 710 kvm (Barlindhaug, 2016).



Figur 55: Illustrasjonsbilde av jekta storsenter (Barlindhaug, 2016).

Byggearbeidene med Jekta storsenter startet i oktober 2010 og kjøpesenteret ble ferdigstilt våren 2013. Byggherre for prosjektet er Coop Nord SA og entreprenør er Consto AS (Barlindhaug, 2016).

Takkonstruksjonen på Jekta storsenter er delvis parkeringsareal og delvis rettvendt kompakt tak. Parkeringsarealet er bygd som et omvendt tak med tekking både under og over isolasjonen, og betongdekke øverst. På takkonstruksjonen er det bygd tre tekniske rom som er bygd opp av parocelenter og kompakt tak (se Figur 56).



Figur 56: Nybygget av Jekta storsenter sett ovenfra (Google, 2016).

Etter at Jekta storsenter ble ferdigstilt, ble det registrert vannlekkasjer flere plasser inne i kjøpesenteret som visste seg å være konsekvenser av fuktproblematikk i takkonstruksjonene. Consto har hatt mye kostnader i ettertid av ferdigstilling ved de nevnte

problemer, og det gjenstår fremdeles problemer som må utbedres. Denne casen tar for seg tre problemområder som det skal ses nærmere på:

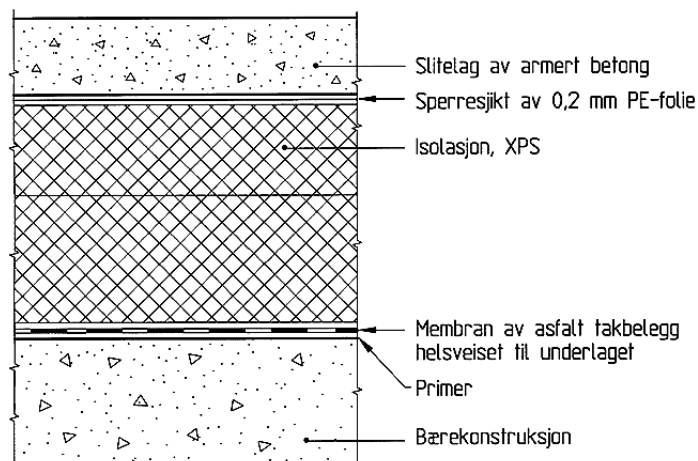
- Fuktansamlinger rundt rørgjennomføringer ved nedløpsrør i parkeringsdekke og takareal (se Figur 56).
- Kondensering ved overlys i takkonstruksjon til Torg 13, og takdrypp.
- Rennende vann på innsiden av fasadeelement i Teknisk rom 1, som renner videre ned og inn til kjøpesenteret.

Nedløpsrørene og Torg 13 er utbedret. I Teknisk rom 1 det er også gjort tiltak som har begrenset problemet. Det registreres fortsatt fuktproblemer og utbedringen må påregnes.

I kapittel 7.1 beskrives årsaken til fuktansamlinger rundt gjennomføringer i parkeringsdekke og takareal (se Figur 56) og hvilke tiltak som ble gjort for å utbedre dette. I kapittel 7.2 beskrives årsaken til kondensering rundt overlys og takdrypp i Torg 13, og hvilke tiltak som ble gjort for å utbedre dette. I kapittel 7.3 beskrives problemene med takkonstruksjonen til Teknisk rom 1, hvilke tiltak som er gjort og forslag til videre tiltak som kan gjøres for å bli kvitt fuktproblemene.

7.1 Parkeringsdekke og takareal - Innvendige nedløp

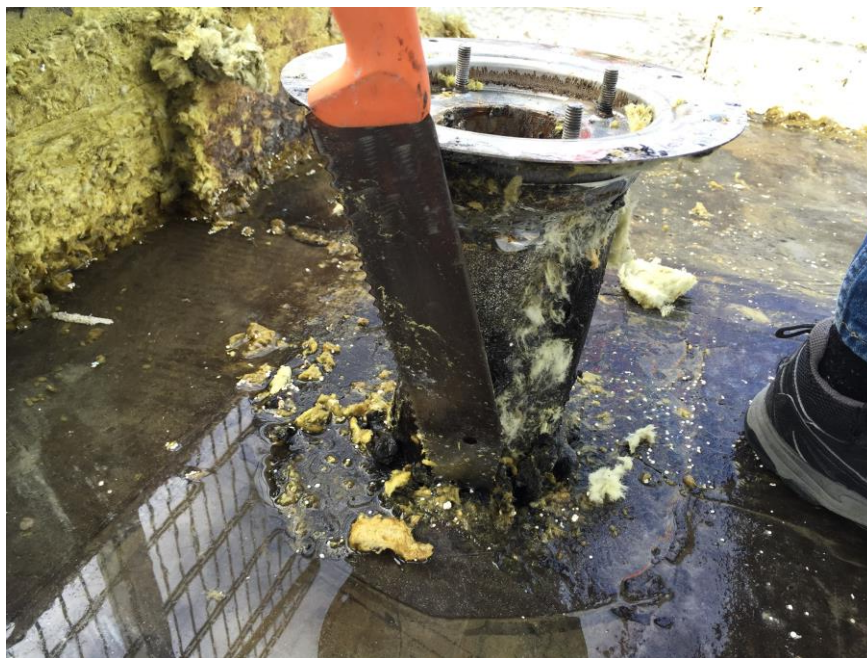
Takkonstruksjonen for parkeringsarealet er oppbygd som et omvendt tak for biltrafikk og parkering (se Figur 57). Takkonstruksjonen er utført med to tekningslag, ett tekningslag over bærekonstruksjon og ett tekningslag under slitelag (fuktsperre i stedet for dampspærre, se kapittel 6.1). Takarealet er oppbygd som et rettventd tak (se kapittel 4.2), tekket med asfalttakbelegg.



Figur 57: Tradisjonell oppbygning av et isolert omvendt tak for biltrafikk og parkering (SINTEF, 1999).

7.1.1 Problem

Etter at Jekta storsenter var ferdigstilt, ble det registrert vannlekkasjer inne i kjøpesenteret. Ved videre undersøkelser ble det oppdaget fukt i lavbrekkene og rundt sluk i parkeringsareal og takareal (se Figur 56). Ved å skjære opp takkonstruksjonen ned til første tekking ble det oppdaget at rørgjennomføringene til sluk ikke var tilstrekkelig tettet (se Figur 58).



Figur 58: Nedløp er ikke tettet skikkelig mot første tekking (Foto: Consto, 2015)

Det ble også oppdaget problemer med nedløpssystemet. Nedløpssystemet som er benyttet på Jekta storsenter er et såkalt vakuumsystem (jet system). Det vil si at vann fra nedløp, kan

bli liggende i nedløpsrørene i en periode før det «skytes» ut. Dette førte til at vann og vanndamp fikk muligheten til å komme opp gjennom sluk igjen, og dermed fukte ut takkonstruksjonen.

7.1.2 Utførte tiltak

Utettheter rundt innvendige nedløp kan føre til kondens og fukt inne i takkonstruksjonen. For å oppnå en tilfredsstillende tetning rundt rørgjennomføringer, kan man bruke teip for å tette rundt dampsperra. Tekkingen opp mot rørgjennomføringer må ha en tilfredsstillende oppkant > 150 mm for å være tilstrekkelig vanntette (se punkt 6.3.2). Rørgjennomføringene må også isoleres for å forhindre kondens på utsiden av røret i varm sone når for eksempel smeltevann renner ned i sluk.

For å utbedre utetthetene rundt rørgjennomføring, ble samtlige konstruksjoner skjært opp rundt rørgjennomføring til sluk og ny tekking ble lagt med tilstrekkelig tetting opp mot gjennomføringene. Rørgjennomføringene ble også tilstrekkelig etterisolert for å hindre kondensering rundt utsiden av rørene.

For å utbedre problemet med nedløpssystemet, ble det montert vannlåser på nedløpsrørene (se Figur 59) slik at vann ikke klarer å presse seg opp igjennom røret. I tillegg ble det installert luftlås som forhindrer vanndamp i å vandre opp i nedløpsrøret.



Figur 59: Vannlås montert på rør til nedløp (Foto: Privat, 2015)

Etter tiltakene var utført, ble det montert lufterør i nærheten av sluk på utvalgte plasser (se Figur 60). Dette ble gjort for å hjelpe til med lufting av takkonstruksjonen, og dermed begrense eventuell fremtidig kondens inne i konstruksjonen.



Figur 60: Rør for lufting av takkonstruksjonen ved sluk (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016)

Rørgjennomføringen (vist i Figur 60) er teknet inn med oppkant > 150mm for å være tilstrekkelig vanntett, samt avsluttet med klemring og tettemasse. Alternativ kunne det her vært benyttet en prefabrikkert mansjett for tetting av gjennomføringen (se punkt 6.3.2).

På takarealene (se Figur 56) er sluk lagt i renner og det er en lokal forsenking rundt slukene (se Figur 60), som beskrevet i kapittel 6.5 er dette en løsning SINTEF anbefaler. Dette vil forhindre stående vann og holder slukene isfrie, siden det vil være en større varmegjennomgang der (Noreng et al., 2008).

Disse tiltakene har foreløpig vært tilstrekkelig, og det er ikke registrert flere lekkasjer inn til senteret som var forårsaket av fuktproblemer i parkeringsdekke og takareal.

7.2 Takkonstruksjon med overlys - Torg 13

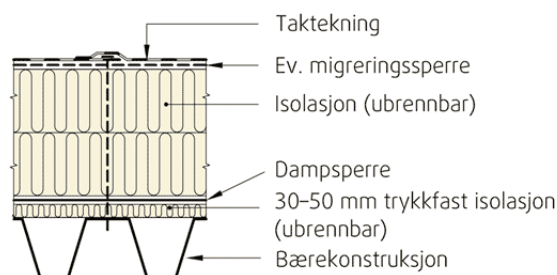
Torg 13 er bygd opp av rettventd kompakt tak på bærende stålplater og stående parocelenter som yttervegger. Taket er tekket med tolags Derbigum hvor det øverste laget er en hvit Derbibrite. På taket er det montert en rekke overlys (se Figur 61).



Figur 61: Bilde av torg 13 etter tiltak er gjort (Foto: Martin Jonassen Fjelde)

Oppbygningen av taket er gjort på tradisjonelt vis (se Figur 62):

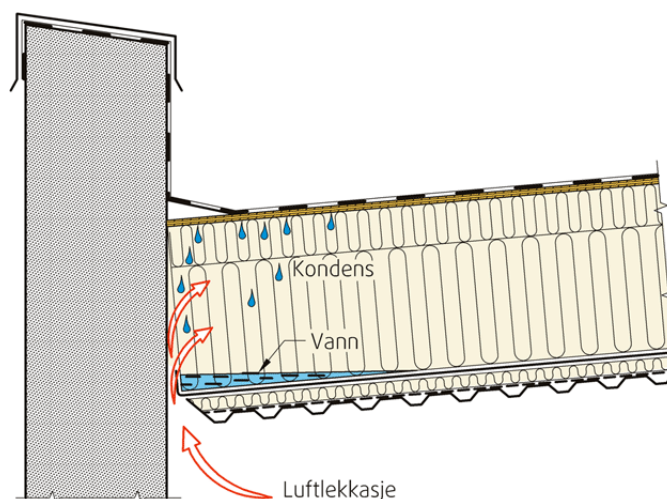
- 50mm trykkfast isolasjon
- 0,2 mm PE-folie
- 250 mm trykkfast isolasjon
- Tolags taktekkning av Derbigum, første lag er 2,5 mm tykk og andre lag er 3,5 mm tykk



Figur 62: Tradisjonell oppbygning av kompakt tak på bærende stålplater (SINTEF, 2007a).

7.2.1 Problem

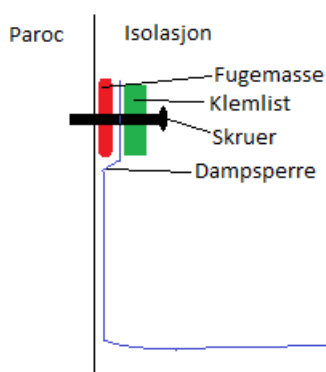
I Torg 13 ble det oppdaget fuktproblemer rundt overlysene i taket etter registrert takdrypp, og vannlekkasjer fra dette området. Ved nærmere undersøkelser ble det funnet fukt i isolasjonen, og vann mellom tekkelagene. Ved å skjære opp i konstruksjonen for å undersøke, fant man at dampspærren var ikke tilstrekkelig tett mot verken overlys eller parocement. Mot parocement var dampspærren ikke mekanisk festet, men klemt av isolasjonen. Mot takkoppybygg ved overlys var ikke dampspærren klemt i det hele tatt. Dette førte til luftlekkasjer og videre kondens (se kapittel 5.7) inn i takkonstruksjonen (se Figur 63).



Figur 63: Illustrasjonsbilde av utett tilslutning av dampspærre mot fasadeelement fører til luftlekkasje og kondens (SINTEF, 2012).

7.2.2 Utførte tiltak

Som et tiltak mot disse kondensproblemene, ble dampspærren mekanisk festet til fasadelementet ved at det lagt fugemasse bak dampspærre ved oppbrett mot parocement og deretter ble dampspærren klemt med en klemlist av metall og skrudd fast (se Figur 64).

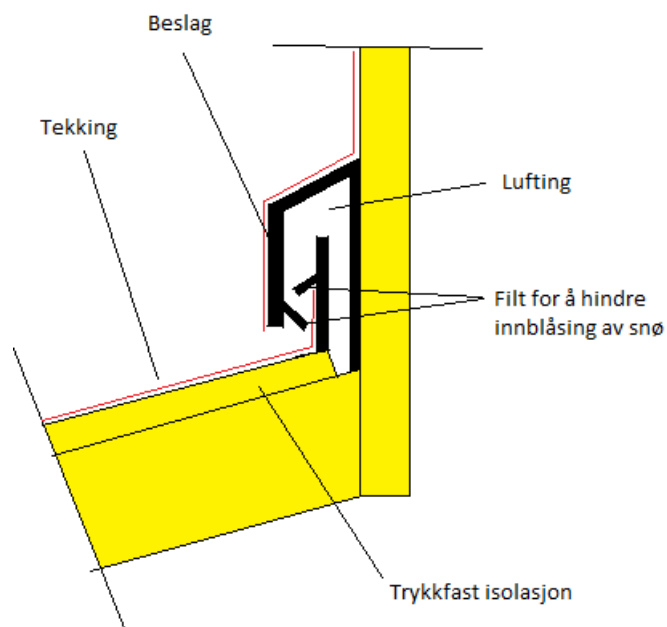


Figur 64: Skisse som illustrerer festing av dampspærre mot parocement (Skissert av Martin Jonassen Fjelde)

Slik som taket er tekket i Torg 13, med tolags Derbigum og en totaltykkelse på 6 mm, gjør at uttørkingsevne til takkonstruksjonen ved diffusjon blir veldig begrenset. Dette er fordi tekkningen er så tykk, og har en høy s_d – verdi, og vil derfor være å beregne som mer eller mindre dampnett. Det hvite takbelegget jobber også imot muligheter for uttørking ved

diffusjon (se kapittel 6). Parocementene vil også stoppe eventuell diffusjon ut mot takkantene, siden de har et yttersjikt av stål som vil oppføre seg damp tett.

Siden taket ha mange overlys i form av oppbyggende kasser med vinduer, var det mulig å utnytte dette ved å gi takkonstruksjonen en utluftingsmulighet. Dette ble oppnådd ved å utføre en detalj med beslag, og lufting ved takoppbygg ved overlysene (se Figur 65).



Figur 65: Skissen illustrerer detaljløsning for beslag og lufting mot takoppbygg ved overlys (skissert av Martin Jonassen Fjelde)

En slik detalj som visst i Figur 65 vil gi taket en uttørkingsmulighet ved konveksjon, som beskrevet i kapittel 5.1, og dermed løser problemet med fukt under og mellom tekningen, samt kondens rundt overlysene.

Etter disse to tiltakene ble utført har det ikke vært registrert mer fukt i sammenheng med Torg 13. Dermed har tiltakene foreløpig vært tilstrekkelig for å bli kvitt fuktproblemene i takkonstruksjonen.

7.3 Takkonstruksjon - Teknisk rom 1

Teknisk rom 1 er oppbygd av stående parocelamenter og rettvendt kompakt tak på bærende stålplater. Taket er tekket med tolags Derbigum hvor det øverste laget er en hvit Derbibrite. Taket er hellende mot sørvest og monterte luftehatter for bedre uttørking (se Figur 66).



Figur 66: Teknisk rom 2 (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016)

Takkonstruksjonen til Teknisk rom 1 er bygd opp på samme måte som takkonstruksjonen i Torg 13 (se Figur 62):

- 50mm trykkfast isolasjon
- 0,2 mm PE-folie
- 250 mm trykkfast isolasjon
- Tolags takteking av derbigum, første lag er 2,5 mm tykk og andre lag er 3,5 mm tykk

7.3.1 Problem

I takkonstruksjonen til Teknisk rom 1, ble det funnet fukt i isolasjonen og vann mellom tekkelagene. I tillegg er det registrert rennende vann langs innsiden av fasadeelementene flere steder inne i Teknisk rom 1. Fukt samler seg opp mellom overgangen til fasadeelementet (se Figur 67) og renner deretter nedover fasadeelementet inne i teknisk rom 1 (se Figur 68). Dette har videre ført til vannlekkasjer inn til kjøpesenteret.



Figur 67: Overgang mellom kompakt tak og sandwichelement hvor det er blitt observert fukt (Foto: Martin Jonassen Fjelde, 2016)



Figur 68: Innsiden av fasade i teknisk rom 1 hvor vann har blitt observert rennende nedover (Foto: Martin Jonassen Fjelde)

Siden taket er såpass skrått hellende, antar entreprenør at denne fuktkilden er på grunn av kondens. Årsak til at kondens oppstår her, kan være en eller flere av følgende grunner:

- Utettheter i dampsperra eller gjennom utette tilslutninger ved gjennomføringer eller overganger til sandwichelement. Et sårbart punkt ved Teknisk rom 1 kan være ventilasjonsoppbygget på taket hvor det lett kan oppstå utettheter, samt dampsperras tilslutning til fasadeelementet.
- Manglende isolasjon i overgangen som kan følge sandwichelementets bevegelser.
- Utettheter i de vertikale skjøtene i sandwichelementene.
- Kondens og luftlekkasjer fra sandwichelementet transporteres inn i takkonstruksjonen.

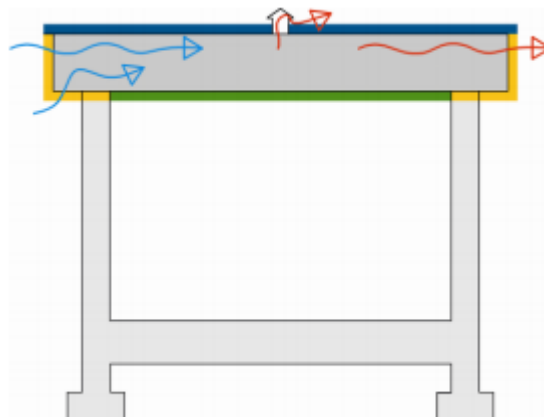
Dampsperra er festet direkte på sandwichelementet uten noe slak. Dette er nødvendigvis ikke noe problem ettersom det er valgt stående sandwichelementer, som på grunn av liten spennvidde ikke nødvendigvis får nok bevegelser til å rive dampsperra. Dampsperran var, på samme måte som Torg 13, festet med en oppkant direkte på parocementet, bare presset av isolasjonen.

7.3.2 Utførte tiltak

Dampsperrans utette tilslutning til fasadeelementet er utbedret med en mekanisk innfestning, på samme måte som ved Torg 13 (Figur 64). Taket til Teknisk rom 1 er i likhet med Torg 13 tekket med tolags Derbigum som har en totaltykkelse på 6 mm og hvit takbelegg. Parocementene er også her ført helt opp til tekningen. Så på samme måte som ved Torg 13, vil Teknisk rom 1 oppleve en begrenset uttørking av konstruksjonen ved diffusjon. Takkonstruksjonen til Teknisk rom 1 har ikke mange takoppbygg, som er tilfellet med overlysene i taket til Torg 13. Derfor er det ikke mulig her å skape en utluftning på samme måte som ved Torg 13 (vist i Figur 65). I stedet er det montert luftelyrer ved takkantene (se Figur 66), som et forsøk for å gi takkonstruksjonen bedre uttørking. Disse tiltakene har begrenset fuktproblemene, men har ikke vært tilstrekkelig til å bli helt kvitt fuktproblemene i Teknisk rom 1. Det registreres fortsatt rennende vann på innsiden av fasadeelementene, og derfor må flere tiltak utføres.

7.3.3 Mulige videre tiltak

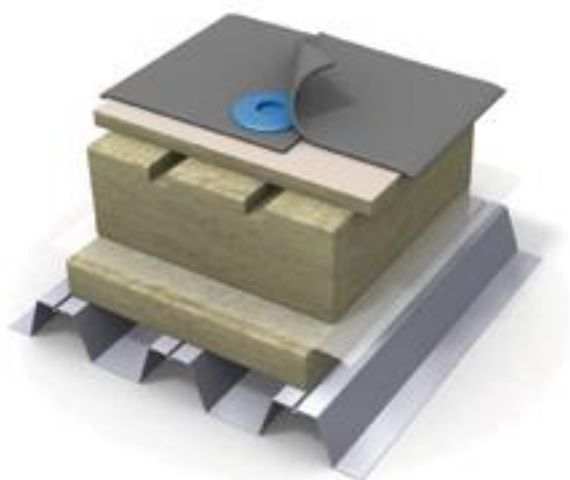
Det er blitt vurdert å legge isolasjon med kanaler i isolasjonssjiktet for å oppnå gjennomstrømning av uteluft og dermed gi takkonstruksjonen en bedre uttørkingsevne, som beskrevet i kapittel 5.1 (se Figur 69).



Figur 69: Luftgjennomstrømning i taket fra ute til ute (Uvsløkk, 2008).

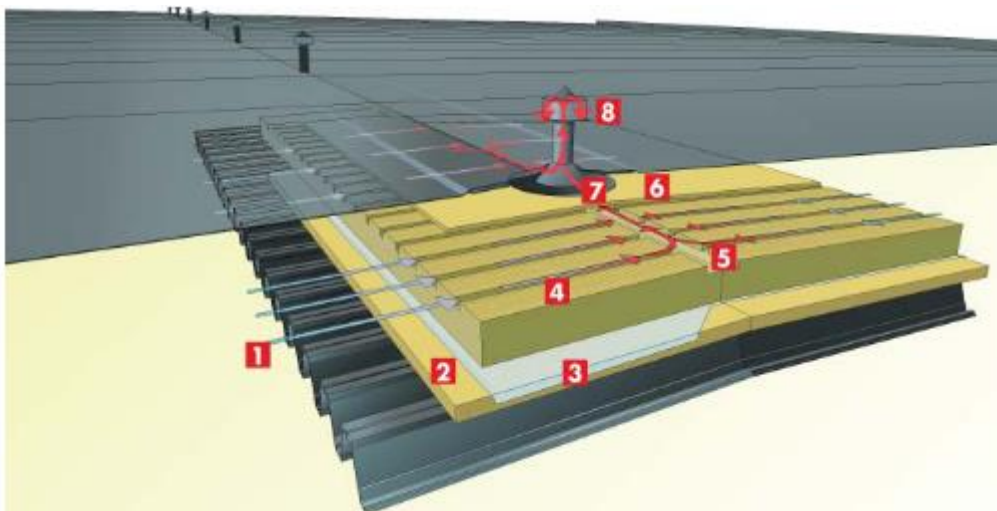
Gjennomstrømning av uteluft er den mekanismen som kan gi takkonstruksjonen størst uttørkingsevne. En slik gjennomstrømning av uteluft gjennom taket, kan føre til et ekstra varmetap. Derfor kan det være en fordel å planlegge luftgjennomstrømningen til å ikke bli større en nødvendig for å begrense varmetapet. Å legge kanaler i isolasjonen langt ut mot kald side, kan også være med på å begrense varmetapet (Noreng and Uvsløkk, 2010).

For å oppnå en slik mekanisme må eksisterende tekkingen på taket fjernes, og det legges et isolasjonssjikt med sammenhengende luftkanaler før dette tekkes inn igjen (se Figur 70). Under en eventuell slik ombygging bør det vurderes å gjøre tiltak mot klimapåkjenninger for å unngå å tekke inn fukt i isolasjonssjiktet.



Figur 70: Illustrasjonsbilde av kanaler i isolasjonssjiktet (PAROC, 2016b)

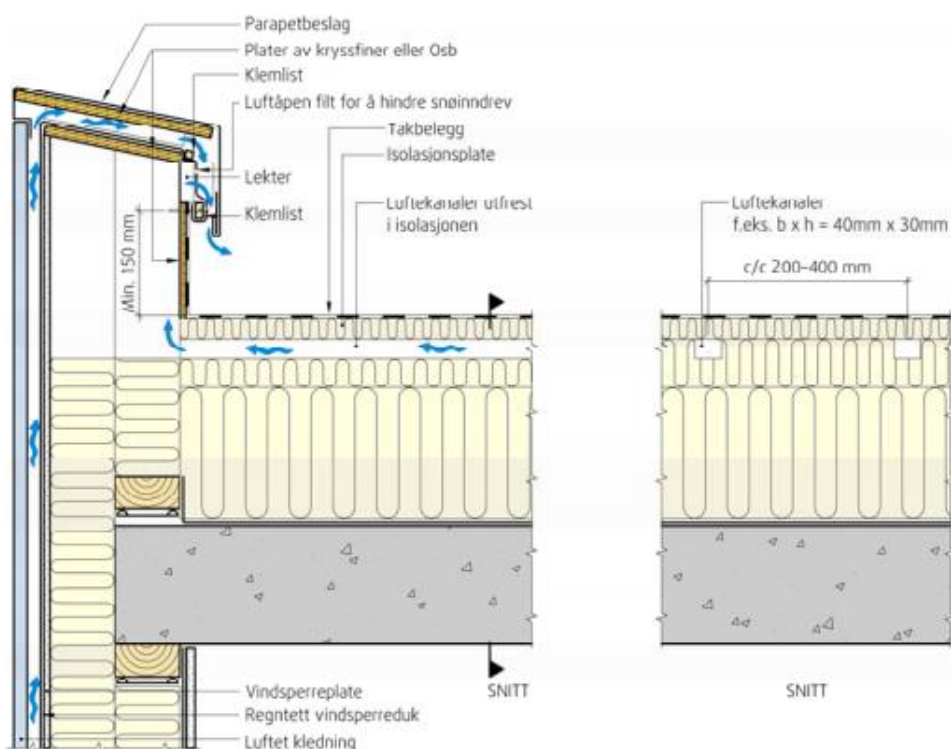
For å sikre en god gjennomlufting, er det viktig at kanaler og ventiler blir utført som en sammenhengende utluftingssystem (se Figur 71). Figur 71 viser et eksempel (Paroc Air) på hvordan et slikt utluftingssystem vil kunne fungere ved luftekanaler i isolasjonssjiktet, og luftelyrer monterer på takkonstruksjonen.



Figur 71: Illustrasjonsbilde av gjennomstrømning av uteluft ved hjelp av kanaler i isolasjonssjiktet og luftelyrer (PAROC, 2016c).

Denne løsningen kan gi takkonstruksjonen uttørkingsevne gjennom konveksjon ved gjennomstrømning av uteluft. Eventuell fremtidig kondens kan da holdes ved like.

Figur 72 viser et eksempel på utforming av takkonstruksjon for å oppnå gjennomstrømning av uteluft.



Figur 72: Eksempel på utforming av takkonstruksjon gjennomstrømning av uteluft (Noreng and Uvsløkk, 2010).

Tilfellet i Teknisk rom 2 vil ikke kunne ha denne utluftingsmuligheten gjennom parapet som vist i Figur 72. Tabell 12 (Vedlegg I - Uttørkingsmekanismer) viser en oversikt over mulige uttørkingsmekanismer i dette tilfellet. For å oppnå gjennomstrømning av uteluft i takkonstruksjonen i Teknisk rom 1, uten hjelp av parapet, kan det være nødvendig med luftelyrer ved takkantene og på takflaten. For å hindre snøinndrev kan luftelyrene tildekkes med duk. Å tekke om taket til en mørkere tekking under en eventuell ombygging med kanaler i isolasjonssjiktet, bør vurderes for å oppnå en bedre uttørkingsevne også ved diffusjon.

Fordelen med en slik løsning er at konstruksjonens utforming kan bevares og en fullstendig ombygning unngås. Ulempen er at taket må tekkes om.

Et annet tiltak kan være en ombygning av taket med en oppbygning som beskrevet i kapittel 6.6.1 og i vedlegg E.

Ved en eventuell ombygging bør det vurderes å utforme takkonstruksjonen med parapet. Og deretter bygge opp takkonstruksjonen som beskrevet i kapittel 6.6.1 og vedlegg E. Også i dette tilfellet kan det å velge en mørkere tekning være en fordel for å bedre uttørkingsevnen ved diffusjon. Under en eventuell ombygning bør det vurderes å gjøre tiltak mot klimapåkjenninger for å unngå å bygge fukt inn i konstruksjonen

Dersom årsaken til fuktoppsamlingen er på grunn av luftlekkasje, kan denne stoppes i dampsperrsjiktet ved å skjøte en ny folie til den eksisterende folien. Det kan også bli brukt skumming med byggsaum hvis det vil være tilstrekkelig (se kapittel 5.7). Eventuelle utettheter i elementskjøter, kan utbedres uten videre tiltak.

8 Diskusjon

Entreprenør har erfart at luftlekkasjer oppstår vanligvis i dampsperrsjiktet rundt gjennomføringer, og mot fasadeelement. Dette samsvarer med hva SINTEF beskriver som utsatte områder for luftlekkasjer. Dampsperre av 0,2 mm PE-folie er som regel tilstrekkelig så lenge bygget ikke har for stor fuktbelastning. Problemet ligger heller mot tetting av dampsperre, der det må fokuseres på detaljer. Rundt gjennomføringer må dampsperreren tettes med teip eller lignende. Mot fasadelement er det ikke tilstrekkelig at dampsperreren kun klemmes av isolasjonen, da bør det heller benyttes en mekanisk innfestning, eller med hjelp av en remse takbelegg med opplegg som vist i kapittel 6.6.

Både entreprenør og SINTEF erfarer at en mørk taktekning vil gi bedre uttørking enn lys taktekning. Valg av en lysere taktekning vil derfor være kun for estetiske grunner. Når man velger taktekning bør man ta hensyn til både tekningens vanndampmotstand og mekaniske styrke, for å vurdere hvilke egenskaper takkonstruksjonen skal ha. Når man bruker asfalttakbelegg er det i tillegg verdt å merke seg at ettlagsbelegg fungerer tilfredsstillende nok mot ytre påkjenninger. Entreprenør påpeker at det er billigere å utbedre eventuelle perforeringer i taktekningen enn å gjøre beskyttelsestiltak. Konsekvensen av dette kan bli innbygging av fukt, som vill være uheldig, og spesielt hvis takkonstruksjonen har en begrenset uttørkingsevne.

Casestudien har tatt for seg tre tilfeller ved Jekta storsenter som har ført til store kostnadskonsekvenser for entreprenør. I alle tilfellene er det utettheter i konstruksjonen som virker å være grunnen for problemene. Med et økende krav til tettere bygg er det viktig å følge opp dette, også i takkonstruksjoner. Luftlekkasjer og kondens er gjerne et tegn på at det er feil i konstruksjonen. Både takkonstruksjonen til Torg 13 og Teknisk rom 1, er utført uten parapet. Dette tillater eventuell fukt fra sandwichelementet en mulighet til å vandre inn i konstruksjonen. I kapittel 6.6 beskrives gode og anbefalte utforminger for overgang mellom kompakte tak og sandwichelementer og bør vurderes ved neste prosjekt.

Både Torg 13 og Teknisk rom 1 er Tekket med en 2-lags Derbigum med en hvit overflate, og har dermed en begrenset uttørkingsevne ved diffusjon innover. Derbigum er en taktekking av asfalttakbelegg med stamme av polyesterfilt. Ut ifra Tabell 6 vil denne type takbelegg med en totaltykkelse på 6 mm, ha en s_d – verdi på over 100 m. Takkonstruksjonene på Teknisk rom 1 og Torg 13 er utført slik at uttørkingmuligheter er meget begrenset, både gjennom diffusjon og konveksjon. Dette er uheldig ettersom det var utettheter i dampsperrsjiktet som førte til luftlekkasjer og videre kondens. Tiltakene som ble utført ved Torg 13 krevde en omtekning av taket. I stedet for tekke på nytt med 2-lags Derbigum kunne man ha tekket med takfolie i stedet. Da ville man fått en bedre uttørkingsevne ved diffusjon, som beskrevet i kapittel 6.2.1, og siden taket ikke er beregnet for trafikk eller videre arbeid ville takfolie vært mer enn tilstrekkelig nok, også med tanke på mekanisk styrke. Flere av de foreslåtte tiltakene til Teknisk rom 1, vil kreve en omtekning av taket. Her bør det derfor vurderes å benytte en takfolie i stedet, på grunn av de fordelene beskrevet.

9 Oppsummering og konklusjon

Norge er et langstrakt land med et spenn på 13 breddegrader og har et varierende klima. Norge blir som regel delt inn i tre klimasoner og har merkbare lokale forskjeller når det gjelder nedbør, vind og temperatur. Tromsø karakteriseres gjerne som et subarktisk område med et moderat havklima på grunn av varme fra Golfstrømmen og en årsmiddeltemperatur på 2,5 °C.

Med et økende antall observasjoner som bekrefter en endring i klimaet som en reel fremtid, konkluderer FNs klimapanel at verden er dårlig forberedt på dette. Temperaturøkning, økende nedbørsmengder og hyppigere ekstremvær vil kunne være klimafremtiden over hele verden. Modeller viser at det i Norge vil bli mildere og mer nedbør, og Nord-Norge vil oppleve de største endringer. Med en temperaturøkning på ca. 4,5 °C, opptil 23 % mer nedbør, og en fordobling i antall nedbørsdager i Norge innen år 2100, er det naturlig å anta at ytre påkjenninger kan bli en utfordring i byggevirksomheten også i fremtiden.

I Norge beløper de årlige kostnadene forbundet med utbedring av byggskader seg til ca. 4 % av de årlige investeringskostnadene ved nybygging. Og oppretting av feil før overlevering anslås å ligge på samme kostnadsnivå. Fuktp problemer er en av de mest kompliserte områdene innenfor byggebransjen i dag, og undersøkelser viser at 3/4 av byggskader skyldes fuktpåvirkning i en eller annen form, og nedbør står alene for 1/4 av dette. Tak står for 22 % av alle byggskader fordelt på bygningsdeler, der kompakte tak står for 19 % av alle byggeskader på tak. Etter utførte intervjuer er det tydelig at fuktp problemer i kompakte tak er et mye diskutert og aktuelt tema i dagens byggevirksomhet. Utettheter, overgang til fasadeelement, uttørkingsevne og byggefukt virker som de mest omtalte temaene.

I et kompakt tak ligger materialsjiktene tett sammen uten lufting mellom isolasjonen og taktekning. Kompakte tak blir mye brukt i byggebransjen i dag siden det egner seg godt for takflater på store bygninger. Skader i kompakte tak med prinsipielt riktig oppbygning, oppstår som regel i form av vannlekkasjer eller kondensproblemer. De mest typiske årsakene til fuktskader i kompakte tak er tette nedløp, hull i tekningen, ising, kondens og kompliserte detaljer. Den generelle oppfatningen av kompakte tak er at fukt som kommer inn i takkonstruksjonen, ikke vil ha mulighet til å tørke ut ettersom takene blir bygd såpass tett. Undersøkelser viser derimot at kompakte tak kan ha god selvuttørkingsevne gjennom både diffusjons- og konveksjonsmekanismer. Det er også mulig å gjøre tiltak for å bevisst gi kompakte tak en selvuttørkingsevne gjennom diffusjons- og konveksjonsmekanismer.

Materialer som benyttes i kompakte tak, har forskjellige egenskaper som kan tas i betraktning for hvilke egenskaper som er ønskelig/gunstig for den endelige takkonstruksjonen. I kompakte tak bør det alltid legges en dampspærre mellom isolasjonen og bærekonstruksjonen. Dampspærre av 0,2 mm PE-folie er den anbefalte typen dampspærre, og er som regel tilstrekkelig i vanlige bygg. I bygninger med stor fuktbelastning, bør takfuktsperre benyttes. Asfalttakbelegg eller takfolie bør benyttes som taktekning i kompakte tak. Takfolie gir bedre uttørking ved diffusjon utover, mens asfalttakbelegg har bedre mekanisk styrke. Mørk taktekning vil gi bedre uttørking ved diffusjon innover enn lys tekning, og derfor anbefales det å alltid benytte mørk taktekning. Skumglass, steinull, EPS og XPS er alle aktuelle isolasjonsmaterialer for kompakte tak og både type isolasjon og tykkelse har liten påvirkning for uttørkingsforløpet.

Erfaringer fra SINTEF sier at sørvendte hellende tak gir større uttørking ved diffusjon innover enn nordvendte eller flate tak. Erfaringene viser også at kystklima gir mindre muligheter for uttørking enn innlandsklima.

Kompakte tak bør alltid utføres med parapet med høyde på minst 200-300 mm og 1:5 fall innover. Oppkanter mot tilstøtende konstruksjoner skal være minst 150 mm. Gjennomføringer bør alltid plasseres i høybrekkene og med en avstand på 300 mm fra andre oppbygg/gjennomføringer. Beslag utføres slik at det skjermer mot nedbør, og monteres så snart som mulig for å hindre inntrenging av vann. For å oppnå tilstrekkelig avrenning, utføres takkonstruksjonen med fall på minimum 1:40 mot sluk og 1:60 i renner. Kompakte tak bør alltid utføres med innvendige nedløp og lokal forsenking rundt sluk.

For å oppnå en vellykket overgang mellom sandwichelementer og kompakte tak er ansvarsavklaring, planlegging og utførelse nøkkelord. Alle fuger i gjennomføringer og skjøter må være både lufttette, regntette og damptette. Byggfukt må unngås i byggeperioden ved enten tildekking, eller å få konstruksjonen raskt lukket. Ved store spennvidder må sandwichelementets evne til å bevege seg tas i betraktning.

De forskjellige kompakte takkonstruksjonene på Jekta storsenter har skapt komplikasjoner etter overlevering i form av lekkasjer inn til senteret. Tiltakene som er utført ved innvendige nedløp ved parkeringsdekke og takareal, samt takkonstruksjonen i Torg 13 på Jekta storsenter, har fungert så langt og det har ikke oppstått flere komplikasjoner. Ved innvendige nedløp ble det skjært opp i takkonstruksjonen for å utføre tilstrekkelig tetting rundt rørgjennomføringene. Det ble også installert vannlåser og luftlås på nedløpsrørene for å motvirke den negative effekten av vakuumsystemet. For å bidra til uttørking inne i takkonstruksjonen rundt sluk, ble det montert lufterør på utvalgte plasser. På takkonstruksjonen i Torg 13, ble utettheter i dampsperrsjiktet utbedret ved å feste dampsperran til fasadeelementet med en mekanisk innfestning. I tillegg ble det utført en detalj i takoppbygg for å gi takkonstruksjonen en utluftingsmulighet.

På Teknisk rom 1 er det også gjort tiltak ved å feste dampsperran til fasadeelementet med mekanisk innfestning. Det er også montert luftelyrer ved takkantene. Disse tiltakene har ikke vært tilstrekkelige og lekkasjer oppstår fortsatt ved at vann renner ned på innsiden av Teknisk rom 1. Det antas at fuktproblemene på teknisk rom 1 er på grunn av kondens. Mulige videre tiltak på teknisk rom 1 er konkludert som:

- Å legge isolasjon med kanaler i isolasjonssjiktet for å oppnå konveksjon ved gjennomstrømning av uteluft, og dermed gi takkonstruksjonen en uttørkingmulighet. Bakdelen ved dette tiltaket er at taket må tekkes på nytt, men fordelen er at konstruksjonen utforming kan bevares og man unngår en ombygning.
- Ombygning av hele takkonstruksjonen i henhold til anbefalte løsninger (beskrevet i kapittel 6.6.1 og vedlegg E)
- Hvis årsaken er grunnet luftlekkasje kan dette utbedres ved skjøte en ny folie, eventuelt skumming med byggsaum. Utettheter i elementskjøter kan utbedres uten videre tiltak.

Flere av de foreslåtte tiltakene til Teknisk rom 1 krever en omtekning av taket. Derfor er det anbefalt å benytte denne muligheten til å bruke takfolie i stedet for Derbigum. Takfolie vil gi takkonstruksjonen en bedre uttørkingsevne ved diffusjon, og siden taket ikke er påberegnet trafikk eller videre arbeid, vil takfolie være tilstrekkelig også med tanke på mekanisk styrke.

9.1 Videre arbeid

Noe av forutsetningen før oppstart på denne oppgaven var å gjøre rede for økonomiske konsekvenser av uheldige løsninger vedrørende kompakte tak. Etter hvert som arbeidet kom i gang, ble det klart at dette kunne bli en utfordring å få til på grunn av manglende data om kostnader tilknyttet denne problemstillingen og tidsbegrensning. Derfor ble det konkludert med intern veileder å heller rette fokus mot mulige tiltak for fuktproblemer i kompakte tak. Når man kommer ut i arbeidslivet, kan det være interessant å se nærmere på de økonomiske konsekvenser, da man trolig har mer tilgang på denne type informasjon.

Videre, å følge opp utviklingsprosessen for tiltak mot Teknisk rom 1, samt gjøre en mer omfattende casestudie av takkonstruksjonene på Jekta storsenter. Videre arbeid kan være å utbedre en logg for årsaker og utbedring, samt hvilke tiltak som fungerte bra og hvilke tiltak som fungerte mindre bra, til å ha tilgjengelig som erfaring til fremtidige prosjekter.

Det ville også vært interessant å gjøre flere intervjuer utenfor entreprenørsektoren, for å få et innblikk fra flere perspektiver og flere synspunkter. Interessante aktører kan være rådgivere, arkitekter, underentreprenører og aktører i forskermiljøet.

Det kan være interessant for Consto å bruke denne rapporten til å lage en punktvis sjekklister for kompakte tak i et KS-system, for både byggefasen og prosjekteringsfasen.

10 Referanser

- ALFSEN, K. H., HESSEN, D. O. & JANSEN, E. 2013. *Klimaendringer i Norge*, Oslo, Universitetsforlaget.
- BARLINDHAUG. 2016. *Jekta storsenter* [Online]. Available: <http://barlindhaug.no/prosjekt/jekta-storsenter-2/> [Accessed 27.05 2016].
- BRINKMANN, S. & TANGGAARD, L. 2012. *Kvalitative metoder. Emperi og teoriutvikling*, Oslo, Gyldendal Akademisk.
- BYGNINGSFYSIKK. 2015. *Bygningsfysikk.no* [Online]. NTNU. Available: <http://bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php> [Accessed 12.05 2016].
- CICERO. 2016. *Senter for klimaforskning* [Online]. CICERO. Available: <http://www.cicero.uio.no/no> [Accessed 31.03 2016].
- CONSTO. 2016. *Consto.no* [Online]. Available: <http://consto.no/> [Accessed 07.06 2016].
- DALLAND, O. 2012. *Metode og oppgaveskriving. 5. utgave*, Oslo, Gyldendal Akademisk.
- EKLIMA. 2016. *Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner* [Online]. Meteorologisk institutt. Available: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL [Accessed 07.06 2016].
- GEVING, S. 2011. *Fuktskader. Årsaker, utredning og tiltak*, Oslo, SINTEF akademisk forlag.
- GEVING, S. & THUE, J. V. 2002. *Håndbok 50 - Fukt i bygninger*, Oslo, Norges byggforskningsinstitutt.
- GLOBALIS. 2016. *Fakta om verden - Et interaktivt verdensatlas fra FN-sambandet* [Online]. Available: <http://www.globalis.no/Verdenskart> [Accessed 10.03 2016].
- GOOGLE. 2016. *Google Maps* [Online]. Available: <https://www.google.no/maps/@69.6744876,18.9243871,200m/data=!3m1!1e3> [Accessed 27.05 2016].
- GRØNMO, S. 2016. *Samfunnsvitenskapelige metoder*, Bergen, Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- GUSTAVSEN, A., THUE, J. V., BLOM, P., DALEHAUG, A., AURLIEN, T., GRYNNING, S. & UVSLØKK, S. 2008. *Kuldebroer - Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk. SINTEF Byggforsk*.
- HARDASON, Æ. 2005. *ALL GOOD ARCHITECTURE LEAKS. Witticism or word of wisdom? NTNU*.
- HJORTHOL, L. M. 2015. *Klimaordboken* [Online]. GEMINI.no. Available: <http://gemini.no/2015/11/45832/> [Accessed 10.06 2016].
- ICOPAL 2015. *Ett-lags takbelegg for skrå og flate tak. Leggeveiledning. icopal*.

- INGVALDSEN, T. 2008. Byggskadeomfanget i Norge (2006). En vurdering basert på tidligere arbeid og nye data. Prosjektrapport 17. SINTEF Byggforsk.
- IPCC 2007a. Summary for policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007b. Regional Climate Projections. In: Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISOLA. 2016. *Soft Vindsperre* [Online]. Porsgrunn: Isola as. Available: https://www.isola.no/assets/Norway/Brochure/Soft_Vindsperre_Tak.pdf [Accessed 16.06 2016].
- JEKTA. 2016. *Jekta Storsenter* [Online]. Available: <http://www.jekta.no/om-oss/> [Accessed 27.05 2016].
- KLIMASERVISENTER, N. 2016. Klimaprofil Troms. *Metrologisk institutt, uni Research, NVE*.
- LISØ, K. R. & KVANDE, T. 2007. *Klimatilpasning av bygninger*, Oslo, SINTEF Byggforsk.
- MATCH. 2003. *Moisture and Temperature Calculations for Constructions of Hygroscopic Materials* [Online]. Bygg- og Miljøteknik AS. Available: <http://www.match-box.dk/> [Accessed 10.05 2016].
- MILJØDIREKTORATET 2014. Klima i endring.
- MILJØDIREKTORATET. 2015. *Klima i Norge 2100* [Online]. Miljøstatus.no. Available: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/klimainorge-2100/> [Accessed 09.03 2016].
- MØRCH, Y. A. 2010. Veiledning i rapportskrivning 5. utgave. *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet*. Trondheim.
- NORENG, K. 1995. Dampsperrer i tak. *Norges byggforskningsinstitutt*.
- NORENG, K. 2008. FUKT I KOMPakte TAK. Resultater fra en feltundersøkelse i tre faser. In: TPF (ed.) *SINTEF Byggforsk*. Trondheim.
- NORENG, K. 2015. TPF, Informasjonsblad nr. 12, Eksempler på løsninger for overgang stålsandwichelementfasade/kompakt tak. *TPF Informerer*.
- NORENG, K., BREVIK, B. G. & JELLE, B. P. 2008. TPF, Informasjonsblad nr 9, En temaveileder. Flate tak. *TPF Informerer*.

- NORENG, K. & HISDAL, J.-M. 1996. TPF, Informasjonsblad nr 7, Dampsperrer i tak. *TPF Informerer*.
- NORENG, K. & UVSLØKK, S. 2010. Robuste kompakte tak med luftkanaler i isolasjonsjiktet og økt selvuttørkingsevne. Prosjektrapport 63. *SINTEF Byggforsk*.
- NOAA. 2016. *National centers for environmental information, Global Analysis - March 2016* [Online]. Available: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201603> [Accessed 26.04 2016].
- NS-3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data. *Standard Norge*.
- NS-3451:2009 Bygningsdelstabell. *Standard Norge*.
- NS-EN-14509:2013 Selvbærende sandwich-element med kjerne av isolasjon og ytterhud av metallplater. Fabrikframstilte produkter. Spesifikasjoner. *Standard Norge*.
- OLSSON, H. & SÖRENSEN, S. 2003. *Forskningsprosessen. Kvalitative og kvantitative perspektiver*, Oslo, Gyldendal Akademisk.
- OLSSON, N. 2011. *Praktisk rapportskrivning*, Trondheim, Tapir Akademisk Forlag.
- OUSTAD, M., UVSLØKK, S. & GUSTAVSEN, A. 2005. Selvuttørkingsevne for kompakte tak - diffusjon. Prosjektrapport 386. *Norges byggforskningsinstitutt*. Oslo.
- PAROC. 2016a. *PAROC sandwichelementer* [Online]. PAROC. Available: <http://www.paroc.no/loesninger-og-produkter/loesninger/loesninger-med-paroc-sandwichelementer/paroc-sandwichelementer> [Accessed 24.04 2016].
- PAROC. 2016b. *PAROC Air - isolering mot fukt* [Online]. paroc.no. Available: <http://www.paroc.no/om-paroc/paroc-innovasjoner/paroc-air> [Accessed 09.06 2016].
- PAROC. 2016c. *PAROC Air - a unique way of ventilating flat roofs* [Online]. Available: <http://www.paroc.com/campaigns/paroc-air> [Accessed 04.06 2016].
- PROTAN. 2016. *Protan AS* [Online]. Available: <http://www.protan.no> [Accessed 01.06 2016].
- SAMSET, K. 2008. *Prosjekt i tidligfasen, valg av konsept*, Trondheim, Tapir Akademiske Forlag.
- SINTEF 1999. Byggforskserien 525.307 Tak for biltrafikk og parkering. *SINTEF Byggforsk*.
- SINTEF 2003a. Byggforskserien 573.121 Materialer til luft og dampetting. *SINTEF Byggforsk*.
- SINTEF 2003b. Byggforskserien 471.013 U-verdier. Tak. *SINTEF Byggforsk*.
- SINTEF 2003c. Byggforskserien 573.430 Materialdata for vandamptransport. *SINTEF Byggforsk*.
- SINTEF 2004. Tak teknet med takfolie eller asfalttakbelegg. Vedlikehold, utbedring og omtrekking. *SINTEF Byggforsk*.
- SINTEF 2005. Byggforskserien 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. *SINTEF Byggforsk*.

- SINTEF 2007a. Byggeforskserien 525.207 Kompakte tak. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2007b. Byggeforskserien 525.002 Takkonstruksjoner. Valg av taktype og konstruksjonsprinsipper. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2007c. Byggeforskserien 523.285 Lette sandwichelementer i yttervegger og tak. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2008. Byggeforskserien 544.204 Tekking med asfalttakbelegg eller takfolie. Detaljløsninger. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2010. Byggeforskserien 700.110 Byggskader. Oversikt. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2011a. Byggeforskserien 544.203 Asfalttakbelegg. Egenskaper og tekking. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2011b. Byggeforskserien 544.202 Takfolie. Egenskaper og tekking. *SINTEF Byggeforsk.*
- SINTEF 2012. Byggeforskserien 725.118 Skader i kompakte tak. Årsaker og utbedring. *SINTEF Byggeforsk.*
- SNL. 2009a. *Store norske leksikon* [Online]. Available: <https://snl.no/kvantitativ> [Accessed 10.06 2016].
- SNL. 2009b. *Store norske leksikon* [Online]. Available: <https://snl.no/partialtrykk> [Accessed 10.06 2016].
- SNL. 2009c. *Store norske leksikon* [Online]. Available: <https://snl.no/trykkfasthet> [Accessed 10.06 2016].
- SSB. 2016. *Statistisk sentralbyrå* [Online]. Available: <https://ssb.no/befolkning/statistikker/folkemengde/aar-per-1-januar/2016-02-19?fane=tabell&sort=nummer&tabell=256001> [Accessed 07.06 2016].
- TEK10 2016. Byggteknisk forskrift. *Direktoratet for byggkvalitet.*
- TEKNA. 2016. *Tekna Tromsø avdeling* [Online]. Available: <https://www.tekna.no/tromso> [Accessed 07.06 2016].
- THUE, J. V. 2014. *Bygningsfysikk - grunnlag*, Trondheim, Akademika forlag.
- TPF 2011. TPF informasjonsblad nr. 6. Branntekniske konstruksjoner for tak. Eksempler på løsninger utført etter veiledning til byggteknisk forskrift. *TPF informerer.*
- UIO. 2011. *Institutt for biovitenskap* [Online]. Available: <http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/l/laminaer.html> [Accessed 10.06 2016].
- UIT. 2016. *UiT, campus Tromsø* [Online]. Available: <https://www.uit.no/campusoversikt/tromso> [Accessed 07.06 2016].
- UVSLØKK, S. 2008. Selvuttørkingsmekanismer for kompakte tak. Prosjektrapport 19. *SINTEF Byggeforsk.* Oslo.

VIKO. 2016. *Veien til informasjonskompetanse* [Online]. NTNU. Available:
<http://www.ntnu.no/viko/> [Accessed 01.02 2016].

11 Vedlegg

10.1	Vedlegg A - Oppgavebeskrivelse	1
10.2	Vedlegg B – Inndeling av klimasoner	4
10.3	Vedlegg C – Tabeller for dimensjonering av dampsperre.....	5
10.4	Vedlegg D – Takkonstruksjonenes oppbygging for TPF og Klima 200 feltundersøkelse.....	8
10.5	Vedlegg E – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (bærende stål)..	9
10.6	Vedlegg F – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (bærende betong)	12
10.7	Vedlegg G – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (takelement) ..	14
10.8	Vedlegg H - Intervjuguider	18
10.9	Vedlegg I - Uttørkingsmekanismer.....	24

11.1 Vedlegg A - Oppgavebeskrivelse

Hovedoppgave
Mastergrad i teknologi
for
stud. techn. Martin Jonassen Fjelde
(Kandidatnr.) 490644
Våren 2016

Integrert bygningsteknologi ved Høgskolen i Narvik

Fuktskader i kompakte tak

Bakgrunn

Kompakte tak, også kalt varme tak er takkonstruksjoner hvor materialsjiktene ligger tett sammen uten lufting mellom varmeisolering og takteking. Kompakte tak over oppvarmede rom er alltid varme tak, og varmegjennomgangen i taket gjør at snø kan smelte, selv i kuldegrader. Kompakte tak er ofte store flate tak, men kan også være skrå. Bæresystemet er oftest av betong, lettbetong eller profilerte stålplater. Kompakte tak blir brukt på alle typer bygninger. De egner seg godt for takflater på store bygninger, men det blir også brukt en del på små tak.

Consto AS bruker mye kostnader på å rette opp i kompakte tak og ønsker derfor kunnskap om hvordan begrense kostnader som følge av uheldige løsninger i denne bygningsdelen. Typiske skader for tak med prinsipielt riktig oppbygning er som regel vannlekasjer fra nedbør eller fuktskader på grunn av kondens. En viktig del av oppgaven blir å redegjøre for hvilke materialer som bør benyttes for kompakte tak, oppbygning/konstruksjon og kostnadskonsekvens av feil og mangler ifølge av løsninger/konstruksjon.

I denne oppgaven skal det utføres en rapport, der det utredes hvilke utfordringer kompakte tak kan gi og hvordan best unngå ekstra kostnader som følge av uheldige løsninger.

Oppgave:

- Valg av materialer
- Valg av løsninger
- Begrensning av kostnader grunnet feil

- Utfordringer ved kompakte tak mht. vann- og kondensproblemer

Begrensning av oppgaven

Arbeidet i oppgaven er begrenset til det som inngår i punktene nevnt ovenfor. Oppgaven begrenses til kompakte tak. Casestudier begrenser seg til minimum ett aktuelt case.

Løsning av oppgaven skal bygge på fagområdene i Integrrert bygningsteknologi som*:

- Bygningsfysikk
- Bygningsmateriallære
- Husbygningsteknikk
- Varmelære
- Bygningsprosjektering
- VVS- og energiteknikk

*Rekkefølgen gjenspeiler ikke nødvendigvis fagets vektning for prosjektet

Gjennomføring

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Consto AS.

Generelt

Det innledende arbeid og litteraturstudium skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Innen 25.01.16 skal prosjektplan med framdriftsrapport være ferdigstilt og levert til veileder. Prosjektplan med framdriftsplan skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven.

Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logiske argumentasjonsrekker.

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Oppgaveteksten skal vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften.

Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefon-/telefaxutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med Universitetet i Tromsø ved veileder.

Arbeidet skal resultere i en sluttrapport med vedlagt CD/DVD som er grunnlag for evaluering og karaktersetting. Rapporten med tilhørende materiale skal leveres i én uinnbundet signert original som lett kan kopieres, samt tre innbundne kopier (evt. ekstern(e) samarbeidspartner(e)s materiell kommer i tillegg og skal overleveres av studenten selv), samt ett eksemplar av rapporten i pdf-format, fortrinnsvis på den vedlagte CD/DVD. Det skal benyttes standard forside som finnes på UiTs nett. Det henvises forøvrig til skrevet *Generelle retningslinjer for hovedoppgaven*, samt emnebeskrivelsen for hovedoppgave.

Rapporten med tilhørende materiale skal innleveres (evt. poststemples) senest innleveringsdatoen til Fakultet for Ingeniørvitenskap og Teknologi ved UiT, Campus Narvik.

Utleveringsdato: 11.01.2016

Innleveringsdato: 20.06.2016

Hovedveileder(e) ved HiN: Høgskolelektor, stipendiat, Svein-Erik Sveen
Telefon: +47 76 96 62 47
E-post: svein-erik.sveen@uit.no

Veileder/kontaktperson ved Consto: Prosjektleder, Mastergrad i ledelse/teknologi, Torgeir Ingebrigtsen
Telefon: +47 416 24 747
E-post: torgeir.ingebrigtsen@consto.no

Kontaktinformasjon: Martin Jonassen Fjelde
Telefon: +47 481 07 395
E-post: martinjfjelde@gmail.com

Universitetet i Tromsø – Mastergrad i teknologi (sivilingeniør)

11.2 Vedlegg B – Inndeling av klimasoner

Sone	Klima	Definisjon (R = årsnedbør i mm, T = årsmiddeltemperatur i °C)
A	Tropisk klima	Middeltemperatur > 18 °C i alle årets måneder
B	Tørt klima	1) $R < 2T$, hvis minst 70 % av nedbøren kommer i vinterhalvåret 2) $R < 2T + 14$, hvis nedbøren er jevnt fordelt mellom sommer og vinter 3) $R < 2T + 28$, hvis minst 70 % av nedbøren kommer i sommerhalvåret
C	Temperert klima	Lufttemperaturen i årets kaldeste måned er mellom 18 og -3 °C og R ligger over grensene for B (tørt klima)
D	Polarklima	1) Middeltemperaturen i årets kaldeste måned < -3 °C 2) Middeltemperaturen i årets varmeste måned > 10 °C
E	Arktisk klima	Middeltemperatur i årets varmeste måned < 10 °C

Tabell 7: Kløppens inndeling av klimasoner (Lisø and Kvande, 2007).

11.3 Vedlegg C – Tabeller for dimensjonering av dampsperre

P1 Innvendig klima	P2 Innvendig trykk	P3 Konstruksjon	P4 Utvendig klima	ΣP P1 + P2 + P3 + P4																																																		
Poengskala for forventet totalt fuktinnhold i innendørsluften.	Poengskala for forventet innvendig trykk under taket.	Poengskala for konstruksjonens egentetthet.	Poengskala for forventet utendørs temperaturforhold.	Sum belastningspoeng fra de fire belastningsforholdene.																																																		
Vurderes i henhold til byggets bruk, innvendig temperatur og RF for dimensjonerende vintersituasjon.	På bakgrunn av byggets utforming og plassering av åpninger og utettheter, finnes nøytralaksen. Legg til 1 Pa derfra for hver meter opp til taket. Legger til evt. Ventilasjonsbasert trykk og finn resulterende trykk rett under taket.	Ved mange gjennomføringer i taket: Velg et poengtrinn høyere.	Laveste utvendige månedsmiddeltemperatur for aktuelt byggested for dimensjonerende vintersituasjon.	Summen benyttes til å finne risikoklasse. Deretter finnes nødvendig dampsperreløsning.																																																		
<p>Poengskala: 0 – 10 P</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Vanndampinnhold</th> <th>Poeng</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 4 g/m³</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>4 – 8 g/m³</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>8 – 15 g/m³</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>> 15 g/m³</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Vanndampinnhold	Poeng	< 4 g/m ³	0	4 – 8 g/m ³	2	8 – 15 g/m ³	5	> 15 g/m ³	10	<p>Poengskala: 0 – 10 P</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Vanndampinnhold</th> <th>Pa</th> <th>Poeng</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 0</td> <td>Pa</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0 – 2</td> <td>Pa</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2-5</td> <td>Pa</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>> 5</td> <td>Pa</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Vanndampinnhold	Pa	Poeng	< 0	Pa	0	0 – 2	Pa	2	2-5	Pa	5	> 5	Pa	10	<p>Poengskala: 0 – 10 P</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Egentetthet i konstruksjon</th> <th>Poeng</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plasstøpt betong, tørr</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Prefab. betong, tørr</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Tre/stål, fuktig bet.</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Tre/stål + gj. føringer</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Egentetthet i konstruksjon	Poeng	Plasstøpt betong, tørr	0	Prefab. betong, tørr	2	Tre/stål, fuktig bet.	5	Tre/stål + gj. føringer	10	<p>Poengskala: 0 – 10 P</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Månedsmiddelt emp.</th> <th>°C</th> <th>Poeng</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 0</td> <td>°C</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0 – (-5)</td> <td>°C</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>(-5) – (-10)</td> <td>°C</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>< (-10)</td> <td>°C</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Månedsmiddelt emp.	°C	Poeng	> 0	°C	0	0 – (-5)	°C	2	(-5) – (-10)	°C	5	< (-10)	°C	10	<p>Sum Poengskala: 0 – 40 P</p>
Vanndampinnhold	Poeng																																																					
< 4 g/m ³	0																																																					
4 – 8 g/m ³	2																																																					
8 – 15 g/m ³	5																																																					
> 15 g/m ³	10																																																					
Vanndampinnhold	Pa	Poeng																																																				
< 0	Pa	0																																																				
0 – 2	Pa	2																																																				
2-5	Pa	5																																																				
> 5	Pa	10																																																				
Egentetthet i konstruksjon	Poeng																																																					
Plasstøpt betong, tørr	0																																																					
Prefab. betong, tørr	2																																																					
Tre/stål, fuktig bet.	5																																																					
Tre/stål + gj. føringer	10																																																					
Månedsmiddelt emp.	°C	Poeng																																																				
> 0	°C	0																																																				
0 – (-5)	°C	2																																																				
(-5) – (-10)	°C	5																																																				
< (-10)	°C	10																																																				

Tabell 8: Dimensjoneringskjema for val av dampsperre (Noreng and Hisdal, 1996).

Risikoklasse	Sum belastningspoeng	Krav til dampsperre
R1	$0 < \sum P < 12$	0,2 mm PE-folie lagt med 200 mm løse omlegg.
R2	$12 \leq \sum P \leq 22$	0,2 mm PE-folie lagt med 200 mm klemte omlegg og utført med tette tilslutninger (klemming, tapeing, fugemasse).
R3	$22 \leq \sum P \leq 32$	<p>a) Takfuktsperre av asfalt takbelegg lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger.</p> <p>b) Takfuktsperre av 0,8 mm PVC-folie (evt. annen) lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger.</p>
R4	$\sum P \geq 32$	<p>a) Takfuktsperre av asfalt takbelegg lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger.</p> <p>b) Takfuktsperre av f.eks. 0,8 mm PVC-folie lagt med sveiste skjøter og tette tilslutninger med 0,15 mm PE-folie løst utlagt med løse omlegg i tillegg for å få tilstrekkelig dampmotstand.</p> <p>NB! For $P \geq 32$ anbefales ikke mekanisk innfestning av selve taktekingen, med mindre det er benyttet dampsperre av belegg med sveiste skjøter som enten er lagt løst på eller sveist eller klebet til underlag av betong.</p>

Tabell 9: Risikoklasse og krav til dampsperre (Noreng and Hisdal, 1996).

Laveste månedsmiddeltemperatur		0 °C	-5 °C	-10 °C
Ikke noe fukttilskudd	0 g/m ³	4,5	3,0	2,0
Kontorbygg m/tørt innemiljø	2 g/m ³	6,5	5,0	4,0
Skoler, butikker, sykehus, sykehjem, boliger m/tørt innemiljø	4 g/m ³	8,5	7,0	6,0
Forsamlingslokaler, boliger m/fuktig innemiljø	6 g/m ³	10,5	9,0	8,0
Dusj og garderobeanlegg og fuktig industri	9 g/m ³	13,5	12,0	11,0
Svømmehaller m/avfuktingsanlegg eller fuktig industri	12 g/m ³	16,5	15,0	14,0
Svømmehaller u/avfuktingsanlegg og svært fuktig industri	≥13 g/m ³	>15	>15	>15

Tabell 10: Inneluftens fuktinnhold som funksjon av uteluftens laveste månedsmiddeltemperatur og fukttilskuddet for bygningstypen. Laveste middelmånedstemperatur kan hentes fra tilgjengelige tabeller (Noreng and Hisdal, 1996).

11.4 Vedlegg D – Takkonstruksjonenes oppbygging for TPF og Klima 200 feltundersøkelse

Tak nr.	Bruk	Konstruksjonens oppbygging
1	Lager	Icopal Mono ettlags asfalt takbelegg, 50 mm steinullisolasjon, DT-betongelementer m/åpne fuger (ikke dampspærre).
2	Lager	Icopal 2-lag asfalt takbelegg, 50 + 30 mm steinull, DT-elementer m/åpne fuger (ikke dampspærre).
3	Kontorbygg	Icopal 2-lags asfalt takbelegg, 50 mm steinull + 200 mm EPS, dampspærre av PE-folie, betong.
4	Kontorfløy	Index P5 asfalt takbelegg, 200-300 mm steinull, dampspærre av PE-folie, bærende stålplater.
5	Kontor/tekniske	Alkorplan takfolie, 100 mm steinull, dampspærre av PE-folie, 50 mm steinull m/glassfiltlag nederst, bærende stålplater.
6	Pakkehall	Index P5 asfalt takbelegg, 100 mm steinull, dampspærre av PE-folie, 50 mm steinull m/glassfiltlag nederst, bærende perforerte stålplater (ingen annen himling under).
7	Kontorfløy	Isola Mestertrekk ettlags asfalt takbelegg, 50 mm EPS-isolasjon, taktro av tre (ikke dampspærre).
8	Råvarelager	Isola 2-lags asfalt takbelegg, 200 mm steinull, Isola base m/løse omlegg som dampspærre, bærende stålplater.
9	Bo- og dagsenter	Protan SE3 takfolie, migreringsspærre av glassfilt, 200-250 mm EPS, dampspærre av PE-folie, betong.
10	Idrettshall	Protan SE3 takfolie, 200-250 mm steinull, dampspærre av PE-folie, betong.
11	Kjøpesenter	Protan SE3 takfolie, 50 mm steinull, gammel (Delifol) takfolie, 150 mm gammel steinull, dampspærre av PE-folie, bærende stålplater.
12	Kontorfløy	Singelballast, Protan FP, 30 mm steinull + falloppbygging 0-100 mm EPS, gammel Trocal takfolie, 50 mm gammel isolasjon, Dinaelementer fylt med isolasjon.

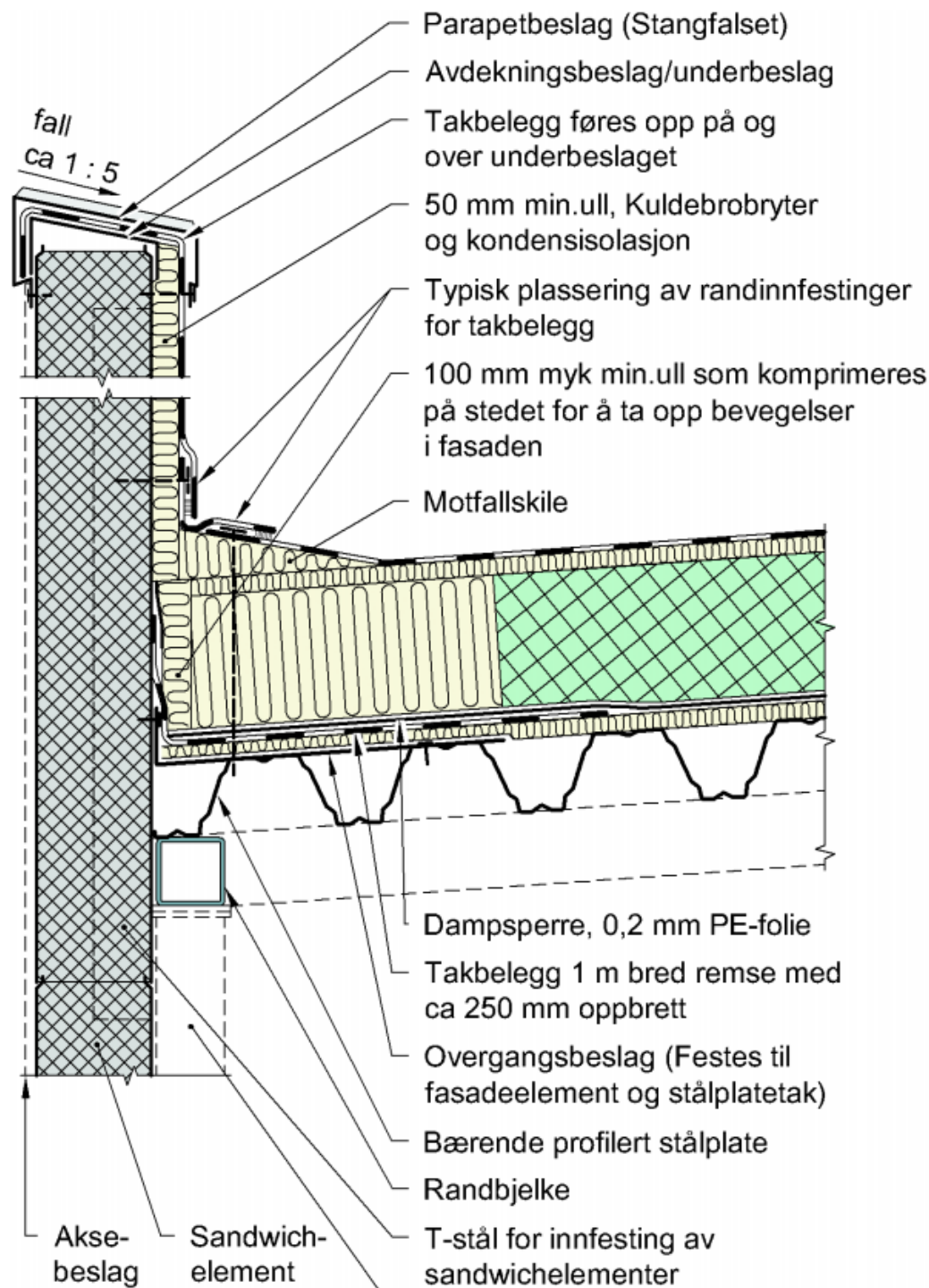
Tabell 11: Beskrivelse av takkonstruksjonenes oppbygging (Noreng, 2008).

11.5 Vedlegg E – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (bærende stål)

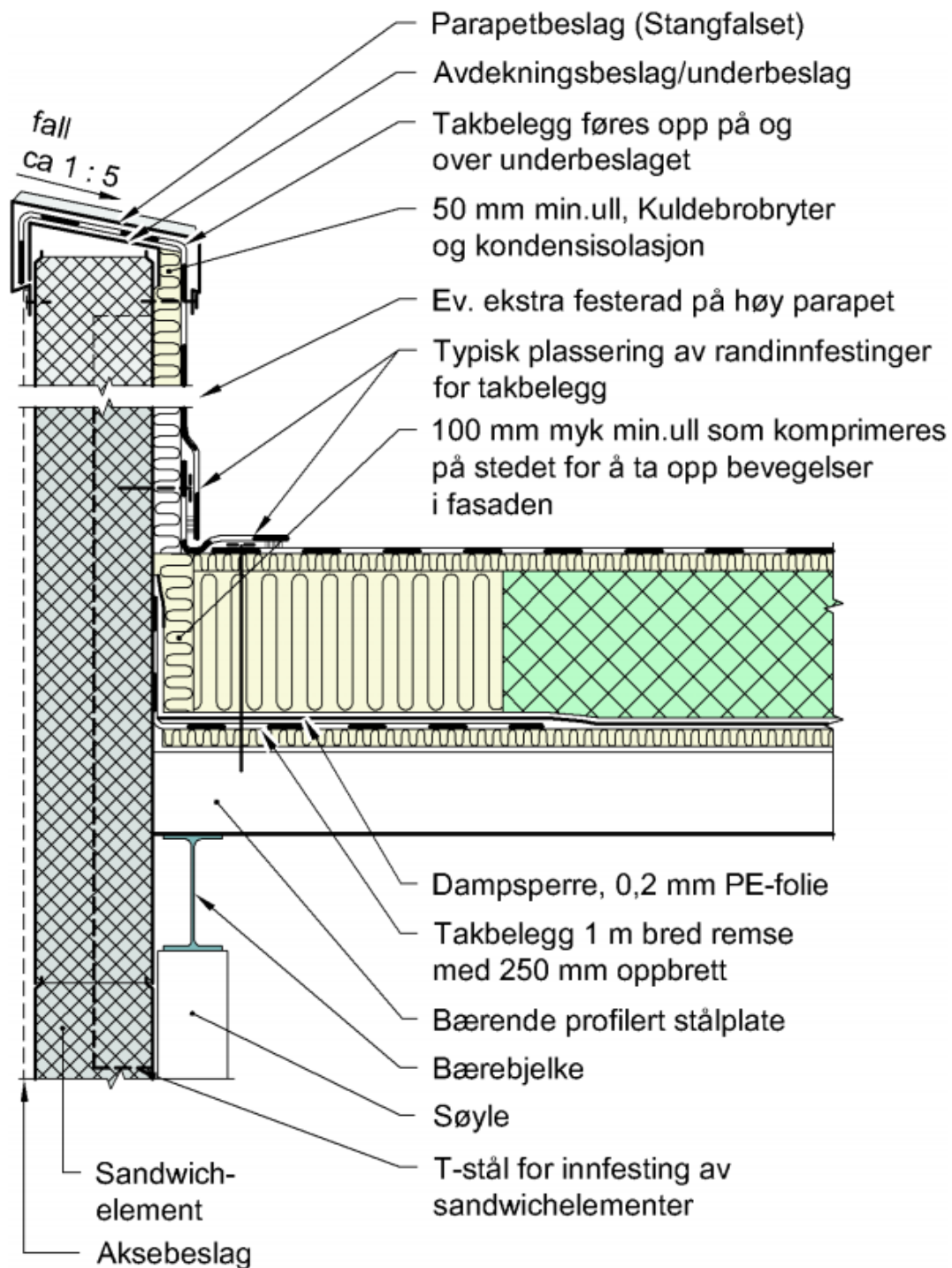
Følgende punkter viser anbefalte løsninger for overgang mellom kompakt tak på bærende stålplater og sandwichelementer med yttersjikt av tynne stålplater, se Figur 73 og Figur 74 for supplerende forklaring til punktene (Noreng, 2015):

1. Leverandør av stålplatetaket dimensjonerer takplatene og innfestingen av disse for vertikalkrefter og horisontalkrefter.
2. Platemontør foretar de nødvendige sammenføyninger og innfestninger i henhold til beskrivelsen fra plateleverandøren.
3. Sandwichelementene monteres og fuger tettes og isoleres. De vertikale fugene må tettes og isoleres helt opp til toppen av parapeten. Søyletoppene skal være dekket med isolasjon og det øverste sandwichelementet skal avdekkes med et underlag for takbelegg straks etter montasje.
4. I langvegg på stålplatene inn mot sandwichelement monteres et overgangsbeslag som understøttelse for varmeisolasjonen. Overgangsbeslaget anbefales en tykkelse på 0,7 mm, og bør ha en oppbrett mot sandwichelementene på ca. 100-200 mm med festepunktet 80-90 mm opp på den vertikale delen. Overgangsbeslaget festes mekanisk til sandwichelementet. Mot gavlvegg kan overgangsbeslaget sløyfes eller erstattes av et mindre beslag.
5. Minimum 30 mm ubrennbar isolasjon legges ut direkte på de profilerte takplatene og inn på overgangsbeslaget, helt inn til sandwichelementet.
6. Direkte på den ubrennbare isolasjonsplaten legges en 1 m bred bane av takbelegg med en ca. 250 mm oppbrett på sandwichelementet som kontaktsveises eller teipes øverst til sandwichelementet. 0,2 mm PE-folie kan også brukes, men må alltid legges med en fold som tillater bevegelsene i fasaden og være tapet eller klemt mot sandwichelementet med egen klemlist på en slik måte som gir en varig og tett tilslutning.
7. Dampsperr av 0,2 mm PE-folie eller bedre legges ut på takflaten. Dampsperra legges med ca. 200 mm løse omlegg, eller festet omlegg der dette kreves. Og med god omlegg til banen med takbelegg nevnt i punkt 6, gjerne helt ut til parapet slik omlegget blir ca. 700 mm.
8. Varmeisolasjonen legges ut på taket, og det brukes ubrennbar isolasjon der dette kreves.
9. Legg 100 mm fleksibel mineralull som komprimeres til ca. 30 mm, eventuelt 150 mm som komprimeres til 70 mm, inn mellom parapeten og takisolasjonen slik at denne fleksible isolasjonen kan følge sandwichelementenes temperaturbevegelser og vindbevegelser.
10. Parapet isoleres på siden inn mot taket med minimum 50 mm ubrennbar isolasjon.
11. Eventuell motfallskiler monteres.
12. Takbelegg av asfalt, plast eller gummi legges ut og festes mekanisk. Det er viktig med randinnfesting av takbelegget og denne settes ca. 100-150 mm innenfor parapeten. Det er viktig å se til at type festemidler som benyttes for feste i sandwichelementet er beregnet for aktuell stålplatetykkelse i sandwichelementet.
13. Takbelegg føres opp og over parapet og festes, nedbrett på utsiden av parapet kan eventuelt sløyfes. Ekstra festerad kan være påkrevd på høye parapeter.

14. Parapetbeslag monteres. Det anbefales beslag med stangfalser, spesielt der takbelegget ikke er lagt helt opp på og over parapet.
15. Etter at parapetbeslag er montert, monteres aksebeslag (utvendig fasadebeslag for tildekning av vertikale skjøter) helt opp og innunder parapetbeslag.



Figur 73: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og plassbygd, isolert stålplatetak. Figuren viser overgang mot byggets langsida (Noreng, 2015).



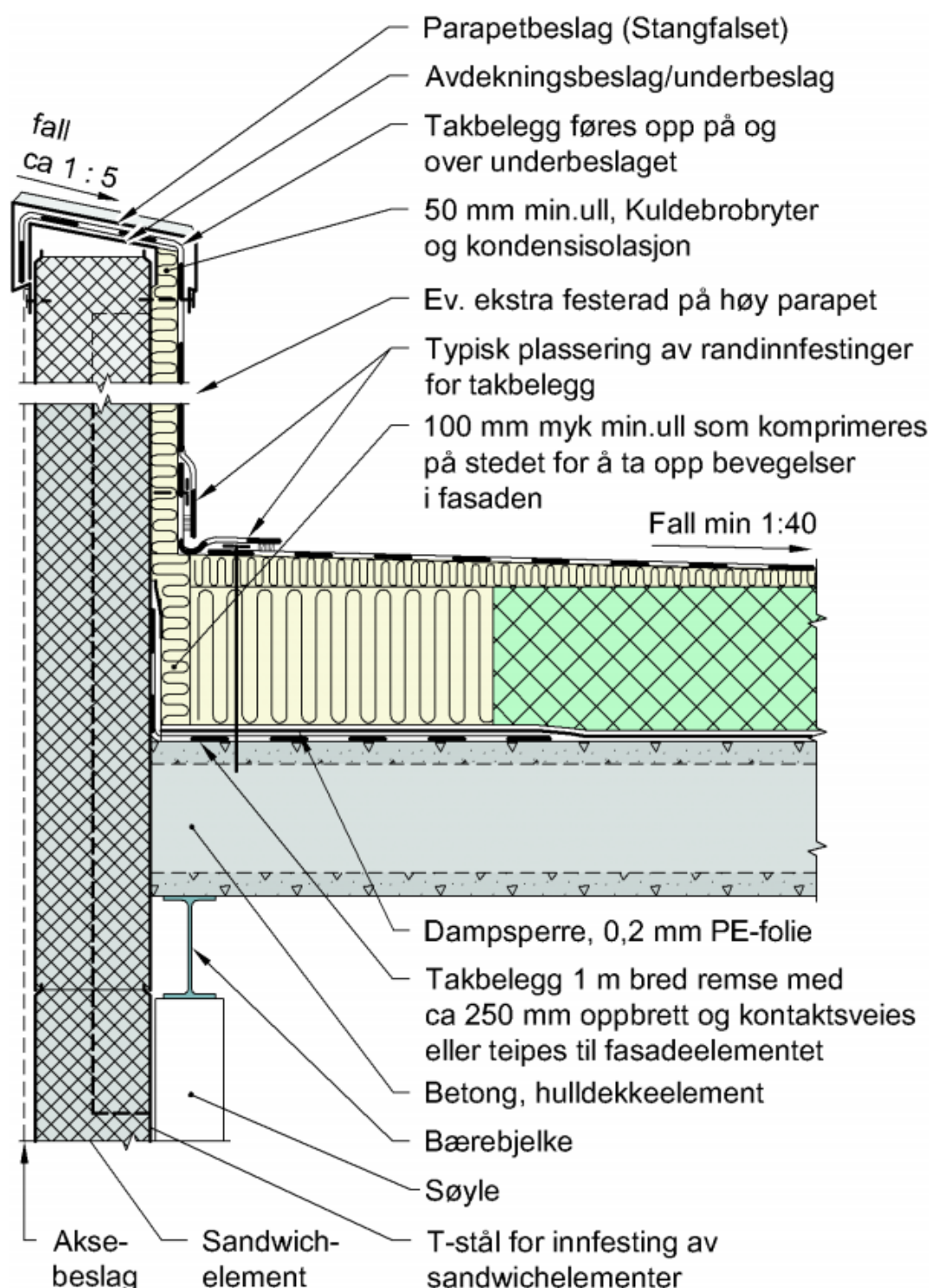
Figur 74: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og plassbygd, isolert stålplatetak. Figuren viser overgang mot byggets kortsida (Noreng, 2015).

11.6 Vedlegg F – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (bærende betong)

Følgende punkter viser anbefalte løsninger mellom kompakte tak på betongelementer og sandwichelementer med yttersjikt av tynne stålplater, se Figur 75 for supplerende forklaring til punktene (Noreng, 2015):

1. Leverandør av de bærende betongelementene dimensjonerer betongelementene og innfestingen av disse for vertikalkrefter og horisontalkrefter.
2. Betongelementmontøren foretar de nødvendige sammenføyninger og innfestninger i henhold til beskrivelsen fra elementleverandøren.
3. Sandwichelementene monteres og fuger tettes og isoleres. De vertikale fugene må tettes og isoleres helt opp til toppen av parapeten. Søyletoppene skal være dekket med isolasjon og det øverste sandwichelementet skal avdekkes med et underlag for takbelegg straks etter montasje.
4. Ved store spennvidder for sandwichelementene, større enn 5 m, må det vurderes overgangsbeslag som understøttelse av isolasjonen inn mot parapeten. For spennvidder mindre enn 5 m kreves ikke overgangsbeslag, eventuelt kan et mindre overgangsbeslag benyttes med oppkant 100-120 mm og festepunkt 80-90 mm opp på den vertikale delen som festes til sandwichelementet. Beslagets lengde ut på taket ca. 300 mm og tykkelse 0,7 mm.
5. Direkte på betongelementet, eventuelt på overgangsbeslag der det vurderes nødvendig, legges en 1 m bred bane av takbelegg med en ca. 250 mm oppbrett på sandwichelementet som kontaktsveises eller teipes øverst til sandwichelementet. 0,2 mm PE-folie kan også brukes, men må alltid legges med en fold som tillater bevegelsene i fasaden og være tapet eller klemt mot sandwichelementet med egen klemlist på en slik måte som gir en varig og tett tilslutning.
6. Dampsperr av 0,2 mm PE-folie eller bedre legges ut på takflaten. Dampsperra legges med ca. 200 mm løse omlegg, eller festet omlegg der dette kreves. Og med god omlegg til banen med takbelegg nevnt i punkt 5, gjerne helt ut til parapet slik omlegget blir ca. 700 mm.
7. Varmeisolasjonen legges ut på taket, og det brukes ubrennbar isolasjon der dette kreves.
8. Legg 100 mm fleksibel mineralull som komprimeres til ca. 30 mm, eventuelt 150 mm som komprimeres til 70 mm, inn mellom parapeten og takisolasjonen slik at denne fleksible isolasjonen kan følge sandwichelementenes temperaturbevegelser og vindbevegelser.
9. Parapet isoleres på siden inn mot taket med minimum 50 mm ubrennbar isolasjon.
10. Eventuell motfallskiler monteres.
11. Takbelegg av asfalt, plast eller gummi legges ut og festes mekanisk. Det er viktig med randinnfesting av takbelegget og denne settes ca. 100-150 mm innenfor parapeten. Det er viktig å se til at type festemidler som benyttes for feste i sandwichelementet er beregnet for aktuell stålplatetykkelse i sandwichelementet.
12. Takbelegg føres opp og over parapet og festes, nedbrett på utsiden av parapet kan eventuelt sløyfes.
13. Parapetbeslag monteres. Det anbefales beslag med stangfalsler, spesielt der takbelegget ikke er lagt helt opp på og over parapet.

14. Etter at parapetbeslag er montert, monteres aksebeslag (utvendig fasadebeslag for tildekning av vertikale skjøter) helt opp og innunder parapetbeslag.



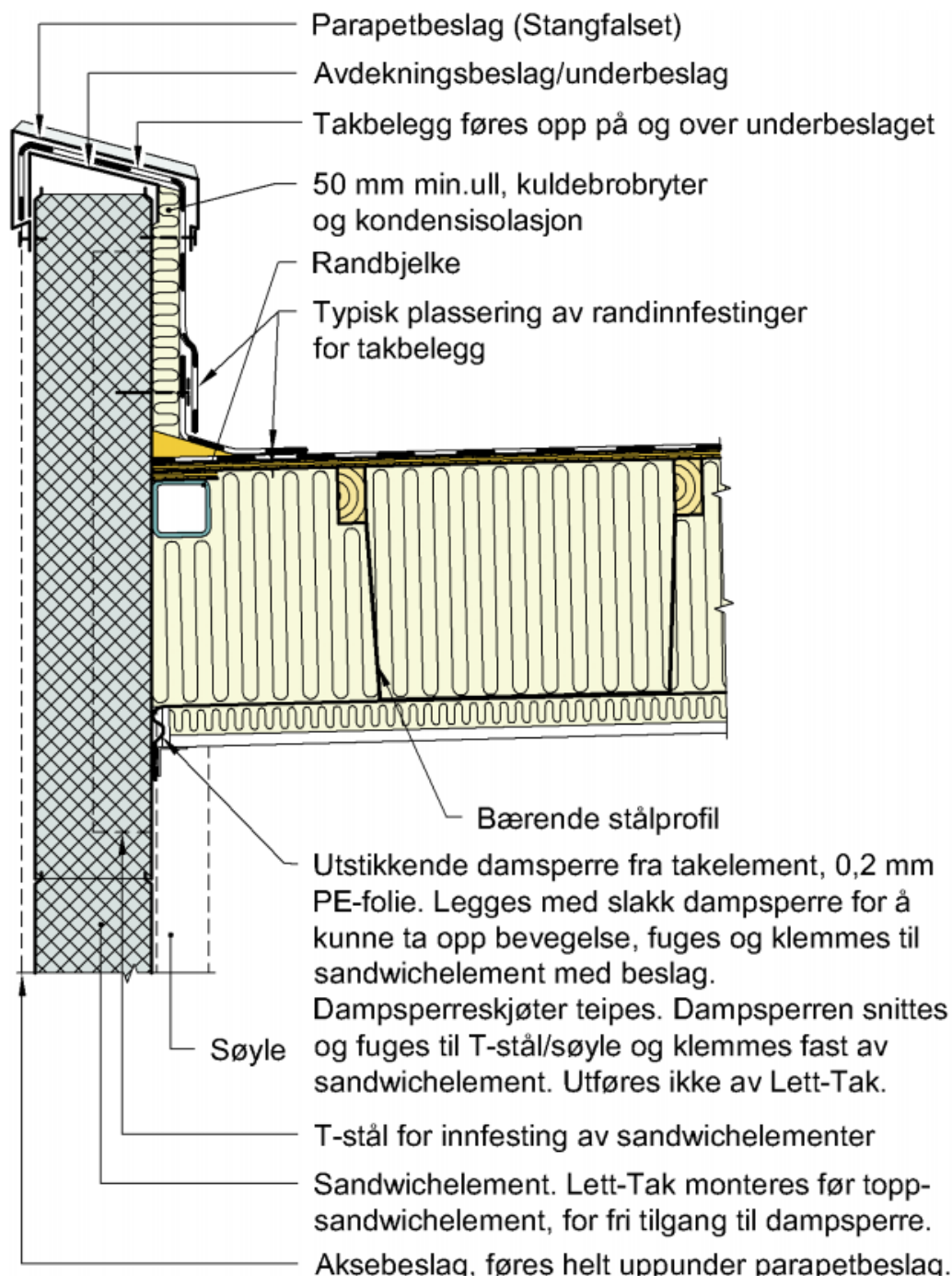
Figur 75: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og kompakt tak på betongelementer. Overgangsbeslag som understøttelse for isolasjonen trengs bare der spennvidden på sandwichelementene overstiger 5 m (Noreng, 2015).

11.7 Vedlegg G – Anbefalt løsning for overgang med sandwichelement (takelement)

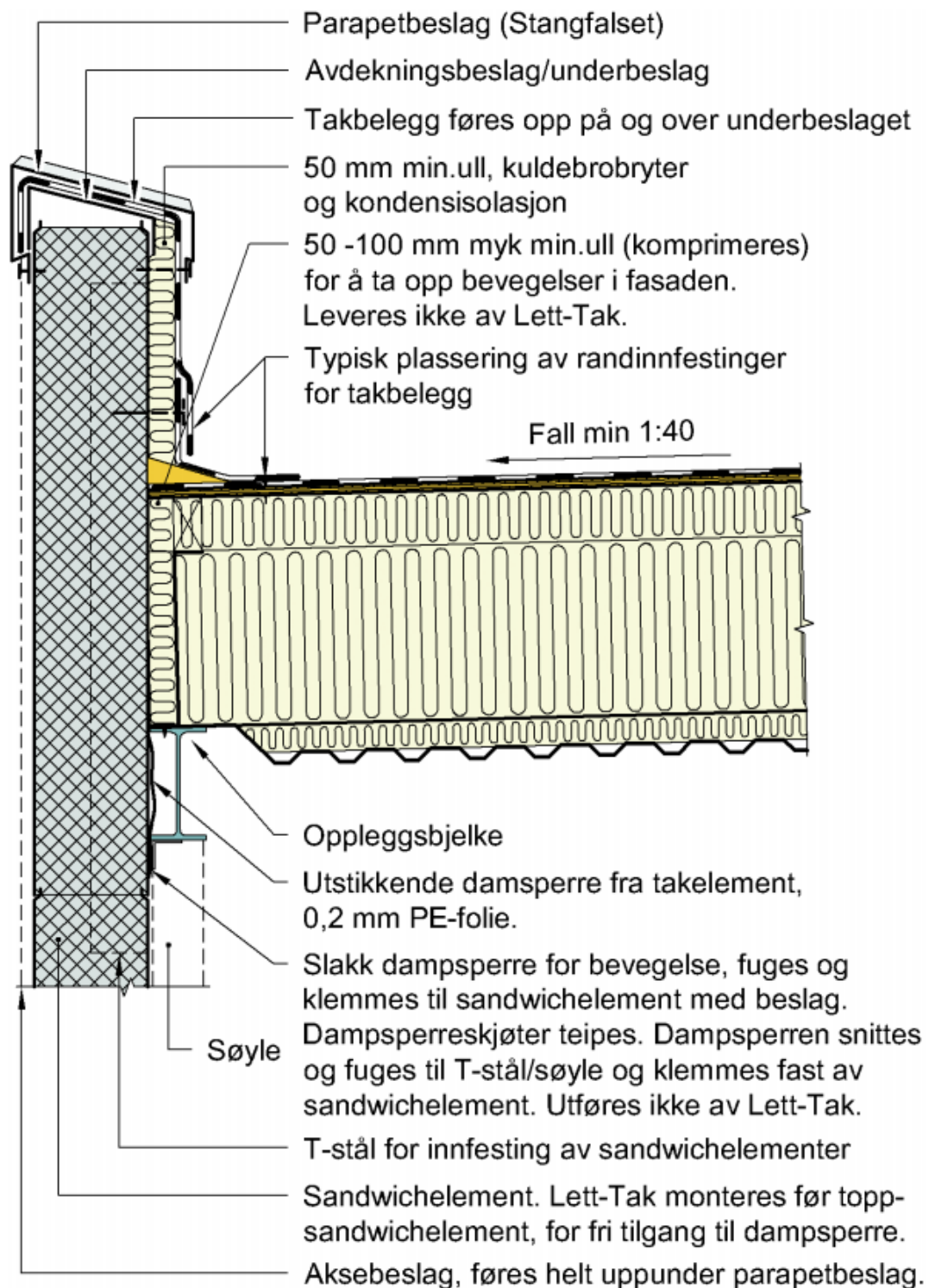
Følgende punkter viser anbefalte løsninger mellom takelementer og sandwichelementer med yttersjikt av tynne stålplater, se Figur 76, Figur 77 og Figur 78 for supplerende forklaring til punktene (Noreng, 2015):

1. Leverandør av takelementene dimensjonerer takelementene og innfestingen av disse for vertikalkrefter og horisontalkrefter. Leverandør foretar også de nødvendige sammenføyninger og innfestinger som en del av sin montasje.
2. Elementleverandøren trekke løs flik av takbelegg på ytterste element mot byggets langsider ned over elementets langside og randbjelke, og fester denne midlertidig. Tilsvarende mot byggets kortsider.
3. Disse flikene av takbelegg løsnes og bøyes opp samtidig med veggelementmontasjen, og gjøres samtidig med inntekkingen av gesims.
4. Sandwichelementene monteres og fuger tettes og isoleres. De vertikale fugene må tettes og isoleres helt opp til toppen av parapeten. Søyletoppene skal være dekket med isolasjon og det øverste sandwichelementet skal avdekkes med et underlag for takbelegg straks etter montasje.
5. Ca. 100 mm mineralull komprimert ned til ca. 50 mm legges inn mellom takelementene og kortveggene av sandwichelementene slik at den komprimerte, fleksible isolasjonen kan følge sandwichelementenes vindbevegelser og temperaturbevegelser. Den komprimerte isolasjonen dyttes ned ovenfra så snart sandwichelementene er montert.
6. Takelementene langs byggets langsider blir levert overisolert med 2-4 cm som sammenpresses under veggelementmontasjen.
7. Utstikkende flik av dampsperre, av 0,2 mm PE folie eller bedre, fra takelementene må sammenføyes med sandwichelementene i fasaden. Elementleverandøren tilpasser lengden på utstikkende dampsperrerreflikker til aktuelle ønsker. Ytterste takelement mot byggets langsider og kortsider har en utstikkende dampsperrereflik som bøyes ned og klemmes mot fasaden. Klemmingen utføres med tettebånd og en liten stålvinkel. Dampsperra må legges med en liten fold når en setter på klemlisten slik at dampsperra ikke slites løs av bevegelsene til sandwichelementet.
8. Dampsperra må tilpasses godt mot søylen og det brukes ekspanderende skum så det blir tett.
9. Vertikale skjøter i dampsperra må sammenføyes med egnet teip slik at de blir varig tette. Vertikale skjøter i dampsperra bak søyler må sammenføyes med egnet teip og suppleres med skumming slik at de blir varig tette.
10. Parapet isoleres på siden inn mot taket med minimum 50 mm ubrennbar isolasjon.
11. Eventuelt skråskårne kiler av ubrennbar varmeisolasjon legges ut for falloppbygging på taket.
12. Parapeten tekkes inn med takbelegg som sammensveises med tekningen på takelementene. Vurder behovet for innfesting av takbelegget til sandwichelementet som danner parapeten. Det er viktig å se til at type festemidler som benyttes er beregnet for aktuell stålplatetykkelse i sandwichelementet.
13. Takbelegg føres opp og over parapet og festes, nedbrett på utsiden av parapet kan eventuelt sløyfes.

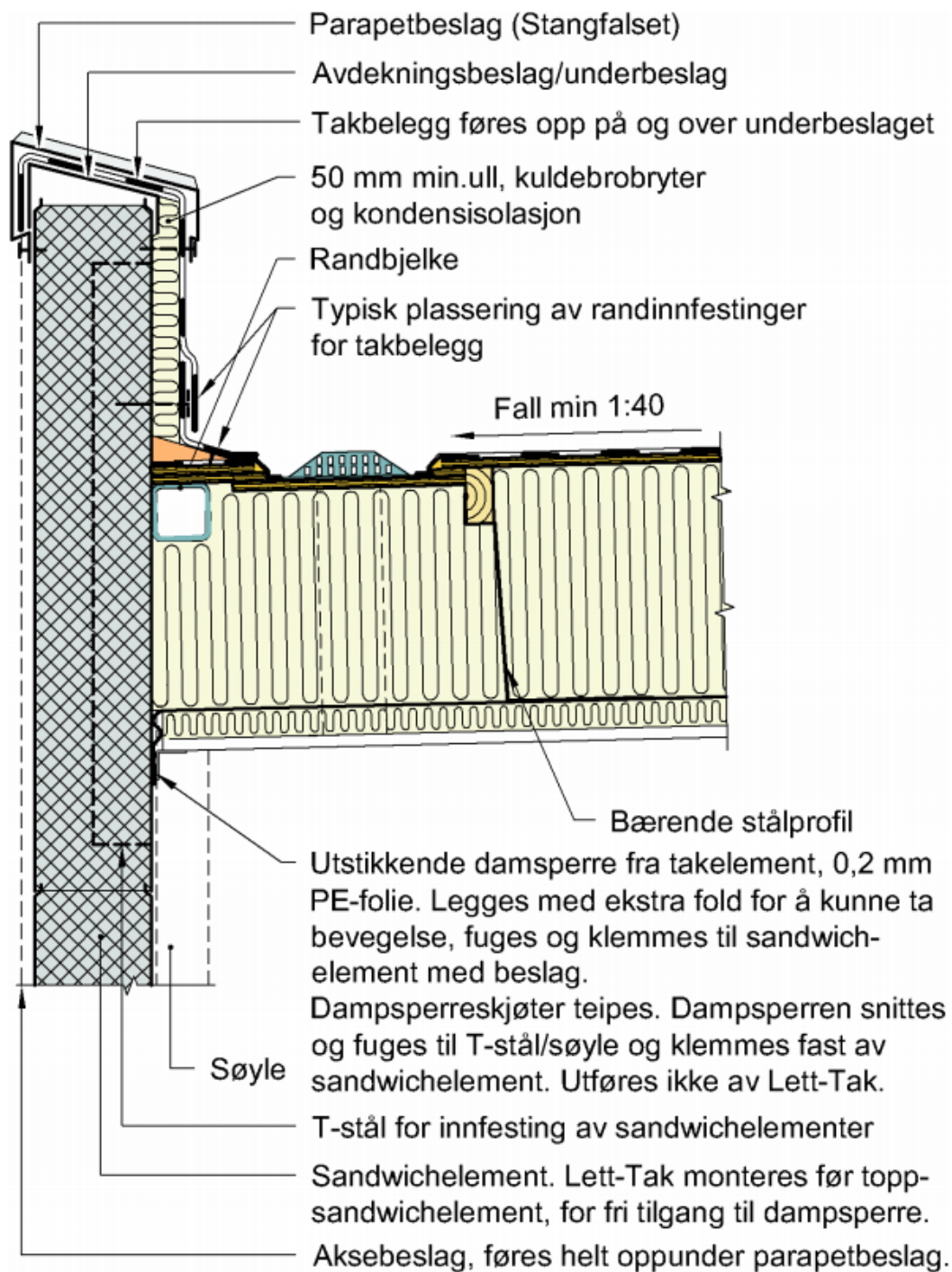
14. Parapetbeslag monteres. Det anbefales beslag med stangfalser, spesielt der takbelegget ikke er lagt helt opp på og over parapet.
15. Etter at parapetbeslag er montert, monteres aksebeslag (utvendig fasadebeslag for tildekning av vertikale skjøter) helt opp og innunder parapetbeslag.



Figur 76: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og takelementer. Figuren viser overgang mot byggets langside (Noreng, 2015).



Figur 77: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og takelementer. Figuren viser overgang mot byggets kortsida (Noreng, 2015).



Figur 78: Forslag til løsning på overgang mellom sandwichelementer og takelementer. Figuren viser overgang mot byggets langside ved sluk (Noreng, 2015).

11.8 Vedlegg H - Intervjuguider

Intervju 1

Intervjuer: Martin Jonassen Fjelde

- 1) Hva er din generelle erfaring med kompakte tak?

Stort prosjekt som i ettertid har skapt mye problemer pga. fuktproblemer i taket.

- 2) Hvilke type problemer har du erfart med kompakte tak?

Fuktproblemer: Kondensering, Luftlekkasjer, Vannlekkasjer, Riming

- 3) Hva mener du er årsaken til dette?

- Problematiske detaljer
- Utførelse
- Dårlig lufting i tekningen
- Punktering i tekkingen ved plassering av antenner og kabler osv.

- 4) Hvilke tiltak ble gjort?

- Skjære opp for å utbedre dampsperre og taktekning mht. tetting.
- Rive ned og bygge på nytt.
- Montering av vannlås og luftlås i nedløpsrør.
- Bedre tetting mht. Rørgjennomganger.
- Kompliserte detaljløsninger med lufting og beslag rundt utette vinduer.
- Være nøye med tanke på lufting og kuldebroer.

- 5) Førte dette til store kostnadskonsekvenser?

Store kostnadskonsekvenser

- 6) Er det noen spesifikke detaljer du har erfart som større problemområder enn andre?

- Overgang mellom kompakt tak – sandwichelement (med yttersjikt av stål) – teknisk rom (oppvarmet).

- Lys tekning (hvit) skaper mer problemer enn svart tekning. Pga mindre uttørking.
- Overgang mellom kompakte tak og sandwichelementer (med yttersjikt av stål).
- Jettsystem (vakuum) i innvendige nedløp.
- Problemer med gjennomføringer (sluk).
- Kondensering rund vinduer på tak pga. Ikke klemt plast.
- Stående parocelenter.
- Parkeringsdekke over tak

7) Har klimaendringer vært en ekstra utfordring i form av større risiko for byggfukt eller lignende?

Nei ikke pga. Klima, men har blitt større risiko med byggfukt pga. tettere konstruksjoner.

Intervju 2

Intervjuer: Martin Jonassen Fjelde

1) Hva er din generelle erfaring med kompakte tak?

Vært med på mange forskjellige løsninger med kompakte tak gjennom årene.

2) Hvilke type problemer har du erfart med kompakte tak?

Fuktproblemer. Ofte de samme problemene som går igjen: Kondens, luftlekkasjer, vannlekkasjer og riming.

3) Hva mener du er årsaken til dette?

- Luftlekkasjer rund gjennomføringer
- Kanaler i HD-elementer
- Punktering av tekningen.
- Utførelse og prosjektering
- Kuldebroer med sandwichelementer av stål
- Manglende isolasjon rundt rørgjennomføringer for sluk
- Konstruksjonen er for tett

4) Hvilke tiltak ble gjort?

- Fylle takkasser med isolasjon, eventuelt montere ventiler.
- Ventiler i tekningen.
- Teipe dampspærre rund gjennomføringer.
- Tekke på nytt over punkteringer.
- Isolere sandwichelementer av stål
- Isolere rund rørgjennomføring til sluk
- Tette overganger

5) Førte dette til store kostnadskonsekvenser?

Store kostnadskonsekvenser

6) Er det noen spesifikke detaljer du har erfart som større problemområder enn andre?

- Valg av tekning: tett eller dampåpen?
- Takkasser
- Gjennomføringer

- Skjøter til gesims (sveis)
- Overgang mellom kompakte tak og sandwichelementer (yttersjikt av stål)
- Hull i tekningen

7) Har klimaendringer vært en ekstra utfordring i form av større risiko for byggfukt eller lignende?

Nei, ikke tenkt på dette.

8) Forslag til Case.

Overgang, kompakte tak og sandwichelementer: Sintef beskriver å legge dampsperra slik at lufting oppstår gjennom parapet. Hva når man bruker sandwichelementer med yttersjikt av stål, ettersom disse er dampette? Da vil ikke lufting ut gjennom parapet kunne oppstå.

Når man har et oppvarmet rom som et teknisk rom på taket med vegger av sandwichelementer, hvordan blir løsningen på overgangen kompakt tak, sandwichelement, teknisk rom?

Intervju 3

- 1) Hva er din generelle erfaring med kompakte tak?

40 år i bransjen og jobbet med lekkasje/kondensproblem de siste 3 år.

Kompakte tak er gode konstruksjoner så lenge man er nøye med detaljer.

Vært mye fokus på tette vegger i bransjen, mens tette tak er begynt å vekke oppmerksomhet de siste årene.

En god ide å etablere logg når man blir involvert i prosjekt med fuktproblemer: hvor mye vann lekker? Når lekker det? Temperatur ute? Vindretning? Hva skyldes lekkasjen?

- 2) Er det noen spesifikke detaljer du har erfart som større problemområder enn andre?

At dampsperra ikke er tilstrekkelig tett mot tilslutninger og gjennomføringer.

Perforering av dampsperra ved skruer og lignende.

Oppbygning uten parapet mot fasade.

Detaljer rundt sluk og nedløp.

Generelle utettheter.

- 3) Hva mener du er årsaken til dette?

Det er blitt krav til tettere bygg og det har vært mest fokus på tette vegger. Takene har blitt litt glemt i prosessen og man bygger takkonstruksjoner som "man alltid har gjort".

Manglende anvendelse av tilgjengelig kunnskap.

- 4) Problemområder Jekta storsenter

Teknisk rom 1: Utett dampsperre mot fasadeelement, hull i dampsperre på grunn av perforering, manglende lufting, manglende parapetoppbygg.

Torg 13: Utett dampsperre mot fasadeelement, manglende lufting, manglende parapetoppbygg.

Parkeringsdekke: utettheter rundt sluk, vakuumsystem.

- 5) Hva er din generelle erfaring med overgang mellom kompakte tak og sandwichelementer med yttersjikt av stålplater?

Sandwichelementer med yttersjikt av stål produserer fukt ved kondens,

Burde utføres med parapet for utluftingsmulighet.

Kan bli fuktproblemer ved utettheter i underkant gjennom varmluft fra eventuelle underetasjer.

Viktig å tette dampsperra skikkelig til elementet.

Bør gis en uttørkingsmulighet.

11.9 Vedlegg I - Uttørkingsmekanismer

	Mekanisme	Drivkraft	Betingelser	Kommentarer	Mulig uttørkingsevne
1 Diffusjon	Diffusjon -vertikalt oppover	Damptrykkforskjell mellom inne i taket og utvendig overflate	Temperaturforskjell mellom inne og ute. Tekning med en viss dampåpenhet. Helst snø- og vannfritt tak.	Mørk takteking gir større uttørking enn lys teking fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming. Den laveste verdien av oppgitt mulig uttørkingsevne gjelder for lyst takbelegg, mens den høyeste gjelder for mørkt takbelegg	Takfolie, $s_d=20$ m: 0,2 – 0,3 l/m ² år Asfalt takbelegg, $s_d=200$ m: 0,02 – 0,03 l/m ² år
	Diffusjon -vertikalt nedover	Damptrykkforskjell mellom inne i taket og inneluft	Temperaturforskjell mellom ute og inne pga. soloppvarming. Dampspærre med en viss dampåpenhet.	Mørk takteking gir større uttørking enn lys teking fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming	PE-folie, $s_d=70$ m: 0,01 – 0,04 l/m ² år Dampspærre, $s_d=10$ m: 0,1 – 0,3 l/m ² år Dampbrems $s_d=2$ m: 0,5 – 1,2 l/m ² år
	Diffusjon -sideveis mot takkanten	Damptrykkforskjell mellom inne i taket og uteluft	Temperaturforskjell mellom inne i taket og ute. Dampåpne og luftede overflater ved takkant.	Mørk takteking gir større uttørking enn lys teking fordi taket blir varmere på grunn av mer soloppvarming Uttørkingen er størst nærmest takkanten	Mineralull, $\mu = 1$, Vindspærre, $s_d < 0,5$ m: $< 0,06$ l/m ² år EPS, $\mu = 30$, Vindspærre, $s_d < 0,5$ m: $< 0,004$ l/m ² år
2 Gjennomstrømming, ute – ute	Luftgjennomstrømming - uteluft fra takkant til takkant	Vindtrykkforskjell mellom to takkanter	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt eller luftkanaler. Utettheter, luftespalter eller ventiler ved takkantene Tett dampspærre Varmere inne enn ute	Kan gi oppfukning ved klar nattehimmel Størst uttørkingsevne når solen varmer opp taket	Uten luftkanaler i isolasjonen: ca. 0,1 l/m ² år Med luftkanaler i isolasjonen: ca. 2 - 20 l/m ² år
	Luftgjennomstrømming - uteluft fra takkant til ventiler på taket	Trykkforskjell mellom takkanter og ventiler på takflaten på grunn av termisk oppdrift og vindtrykk	Luftåpent (permeabelt) isolasjonssjikt eller luftkanaler. Utettheter, luftespalter eller ventiler ved takkantene. Ventiler på takflaten. Tett dampspærre. Varmere inne enn ute.	Kan gi oppfukning ved klar nattehimmel Størst uttørkingsevne når solen varmer opp taket	Uten luftkanaler i isolasjonen: ca. 0,1 l/m ² år Med luftkanaler i isolasjonen: ca. 2 - 20 l/m ² år

Tabell 12: Mulige mekanismer for uttørking ved diffusjon og luftgjennomstrømming (Noreng and Uvsløkk, 2010).