

Eirik Dobloug Haandlykken

Analyse av muggvekstrisiko i trebjelkelagets kantbjelke

Masteroppgave i bygnings- og materialteknikk

Veileder: Stig Geving

Juni 2021

Eirik Dobloug Haandlykken

Analyse av muggvekstrisiko i trebjelkelagets kantbjelke

Masteroppgave i bygnings- og materialteknikk
Veileder: Stig Geving
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Anslagsvis kan 75 prosent av alle byggskader relateres til fukt og vann. Fukt bidrar blant annet til gode vekstbetingelser for muggsopp, som er den viktigste negative helsefaktoren i innemiljøet.

Etasjeskillere i trebjelkelag, med overgang til yttervegg, gir utfordringer knyttet til fukt og muggvekst. Den tradisjonelle utførelsen fører til at fuktig inneluft kan diffundere ut i bjelkelaget, og kondensere i møte med kantbjelken. Dette bidrar til gode muggvekstbetingelser. Studien undersøker hvordan en etasjeskiller mellom oppvarmede rom kan utføres så fuktsikker som mulig, med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken.

Innledningsvis ble det gjennomført sju semistrukturerte intervjuer som kartla erfaringer fra bransjen. I tillegg ble de brukt til å bestemme data som var aktuelle for å belyse problemstillingen videre i en parameterstudie. Parameterstudien undersøkte 135 parametervariasjoner fordelt på to konstruksjoner. Parametervariasjonene ble simulert i programmet WUFI 2D, med påfølgende muggindeksberegninger i WUFI Mould Index VTT.

Resultatene tilsier at muggvekstrisikoen i kantbjelken er reell. Observasjoner hos informanter tyder på kondensproblemer knyttet til et uteklima som er fuktig og kaldt, men ikke der det er tørrere og varmere. Vanskeligheter med å oppdage fuktproblemer i kantbjelken blir påpekt av samtlige informanter og begrunnes med konstruksjonens utilgjengelighet. Parameterstudien bekrefter til en viss grad observasjonene, og indikerer muggvekstrisiko i de fleste beregningstilfellene. Muggvekstrisikoen påvirkes i størst grad av parameterkombinasjoner som bidrar til perioder med temperaturer høyere 5 °C og relativ luftfuktighet høyere enn 95 prosent.

I en etasjeskiller er det viktig å redusere fukttransport ut mot kantbjelken, samtidig som konstruksjonen har uttørkingsmuligheter. Dette oppnås ved å bruke et dampåpent kantbjelkemateriale, eksempelvis en 18 mm OSB-plate, som trekkes inn 5 cm. Ved å bruke et vertikalt sperresjikt inntil kantisolasjonen i tillegg, vil risikoen for muggvekst trolig reduseres til et akseptabelt nivå. Det vertikale sperresjiktet kan både være en type kubbing eller en dampbrems.

Abstract

As much as an estimated 75 percent of all building damage is related to moisture and water. Moisture contributes, among other things, to good growth conditions for mold, which is the most important negative health factor in indoor environments.

Structural floors in wood-frame houses, with a transition to the outer wall, present challenges related to moisture and mold growth. The traditional design means that moist indoor air can diffuse into the structure, and condense in contact with the edge beam. This contributes to good mold growth conditions. This study investigates how structural floors between heated rooms can be made as moisture-proof as possible in order to reduce the risk of mold growth in the edge beam.

Initially, seven semi-structured interviews were conducted in order to represent experiences from the industry. In addition, the interviews were used to showcase the problem in a parametric study. The parametric study elucidated 135 parameter variations divided into two constructions. The parameter variations were simulated in the WUFI 2D application, with subsequent mold index calculations in WUFI Mold Index VTT.

The results indicate that the risk of mold growth in the edge beam is real. Observations by informants indicate condensation problems associated with an outdoor climate that is humid and cold, but not where it is drier and warmer. Difficulties in detecting moisture problems in the edge beam are pointed out by all informants and are justified by the inaccessibility of the construction. The parametric study confirms the observations to a certain extent, and indicates the risk of mold growth in most calculation cases. The risk of mold growth is affected to the greatest extent by parameter combinations that contribute to periods with temperatures above 5 °C and relative humidity higher than 95 percent.

Within structural floors in wood-frame houses, it is important to reduce moisture transport towards the edge beam. At the same time the construction should support transportation of air to keep the humidity as low as possible. This is achieved by using a non-vapor resistant edge beam material, for example an 18 mm OSB board, which is retracted 5 cm. By using an additional vertical barrier layer next to the edge beam insulation, the risk of mold growth will most likely be reduced to an acceptable level. The vertical barrier layer can either be a type of bridging or a vapor retarder.

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på et femårig masterstudium ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er skrevet ved institutt for bygg- og miljøteknikk og utgjør 30 studiepoeng i emnet *TBA4905 – Bygnings- og materialteknikk*.

Motivasjon i arbeidet har vært å belyse en dagsaktuell problemstilling som trolig omfatter svært mange norske boliger. Ønsket er å kunne bidra til å utvikle en mer fuktsikker byggeprosess, hvor hensikten er å utarbeide detaljløsninger som ledd i dette.

Jeg ønsker å takke alle intervjudeltakere som har tatt seg tid i en hektisk hverdag. Dette har gitt meg mange verdifulle innspill, tilbakemeldinger og presiseringer, som har vært ytterst nødvendige for å fullføre oppgaven.

Takk til Stig Geving, min hovedveileder, for gode innspill, faglige diskusjoner og veiledning. I tillegg vil jeg takke Lars Gullbrekken og Snorre Bjørkum for god hjelp i løpet av semesteret. Jeg vil også rette en takk til mine medstudenter som til stadighet har stilt spørsmålsteget ved hva jeg egentlig skriver om.

En stor takk går også til min kjære korrekturavdeling, bestående av min mor og far, for uvurderlig språklig og teknisk bistand. Avslutningsvis vil jeg takke min samboer Caroline for å ha holdt ut med en sliten masterstudent på hjemmekontor.

God lesning!

Trondheim, juni 2021



Eirik Dobloug Haandlykken

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Formål og problemstilling	2
1.3	Avgrensninger	2
1.4	Rapportens oppbygging	2
2	Teori	3
2.1	Begreper og definisjoner	3
2.2	Etasjeskiller med trebjelkelag	3
2.3	Fuktteori	7
2.4	Muggvekst	14
2.5	Skader i kantbjelken	17
2.6	Simuleringsprogrammer	18
2.7	Tidligere forskning	20
3	Metode	21
3.1	Intervju	21
3.2	Parameterstudie	24
4	Resultater og vurderinger	39
4.1	Intervju	39
4.2	Parameterstudie	44
5	Diskusjon	99
5.1	Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?	99
5.2	Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?	100
5.3	Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?	104
5.4	Videre arbeid	105
6	Konklusjon	107
	Referanser	109
	Vedlegg	113

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

SINTEF Community (2018) anslår at rundt 75 prosent av alle byggskader er forårsaket av fukt og vann. Fukt bidrar til gode vekstvilkår for muggsopp, som ifølge Becher *et al.* (2016) er ansett som den viktigste negative helsefaktoren i innemiljøet. De siste hundre årene har årsnedbøren økt med 18 prosent over hele Norge, og vil øke ytterligere 18 prosent innen århundreskiftet (Hanssen-Bauer *et al.* 2016). Et stadig våtere klima vil følgelig stille strengere krav til en fuktsikker byggeprosess (Miljødirektoratet, 2019).

Som en stor boligutbygger ønsker Norgeshus å være i forkant av kommende utfordringer (Norgeshus, 2020). De jobber sammen med forskere fra SINTEF og NTNU, og leverandørene NorDan, Moelven, Jackon og Isola for å utvikle en verktøykasse for klimatilpasning av boliger. Den skal gjøre det lettere å markedsføre og velge overordnede løsninger tilpasset det klima og de omgivelsene boligene skal føres opp i. Dette involverer blant annet utarbeidelse av fuktsikre byggedetaljer.

Etasjeskillere i trebjelkelag, med overgang til yttervegg i småhus, er en byggedetalj som byr på visse fuktrelaterte utfordringer. En samtale med Lars Guldbrekken, Snorre Bjørkum og hovedveileder Stig Geving 14. januar 2021, belyste problemer knyttet til fuktproblemer som kan oppstå i bjelkelagets kantbjelke.

I den tradisjonelle utførelsen av trebjelkelag i småhus benyttes en himling med lufttett utførelse. Dette skal hindre luftlekkasjer i å gå ut i bjelkelaget og kondensere ute i veggen. Samtidig ønsker man at det lufttette sjiktet skal være dampåpent, slik at byggfukt ikke stenges mellom to damptette sjikt. Det medfører at vanndamp fra underliggende rom kan diffundere ut i konstruksjonen ved bruk av diskontinuerlig dampsperre i ytterveggen. I perioder fører dette til risiko for kondens og muggvekst på kantbjelken. Ved luftlekkasjer kan en innadrettet lufttransport ta med seg soppsporer og forårsake et dårlig innemiljø.

1.2 Formål og problemstilling

Selv om problemstillingen rundt muggvekst i kantbjelken potensielt berører mange trehus, har den vært lite undersøkt i Norge tidligere. Formålet med denne oppgaven er derfor å undersøke hvordan en etasjeskiller mellom to oppvarmede rom kan utføres så fuktsikker som mulig i overgang til yttervegg. Dette gir utgangspunktet til følgende problemstilling:

Hvordan kan en etasjeskiller med trebjelkelag i overgang til yttervegg med diskontinuerlig dampsperre, utføres så fuktsikker som mulig for å unngå muggvekst i kantbjelken som følge av vandampdiffusjon og luftlekkasjer fra inne-lufta?

For å svare på problemstillingen ble det formulert tre forskningsspørsmål:

1. Hva er bransjens erfaring knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?
2. Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?
3. Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven fokuserer spesifikt på etasjeskillere med trebjelkelag mellom oppvarmede rom. Kun etasjeskillere med diskontinuerlig dampsperre vurderes. Risiko for muggvekst i kantbjelken er vurderingsgrunnlag i alle beregninger, og fokuserer ikke på andre deler av konstruksjonen. Beregningene er kun knyttet til detaljene som er undersøkt i oppgaven. Kompakte tak, kjellervegger og overgang til kalde rom dekkes ikke i denne oppgaven.

1.4 Rapportens oppbygging

Innledningsvis vil det teoretiske rammeverket for oppgaven presenteres i kapittel 2 med fokus på fuktteori og beregning av muggvekstrisiko. Deretter behandles studiens metode i kapittel 3. Her blir intervju som metode gjennomgått etterfulgt av parameterstudien. I kapittel 4 presenteres resultatene sammen med vurderinger. Intervjuer og parameterstudien vil også her presenteres separat. Kapittel 5 inneholder en generell diskusjon hvor forskningsspørsmålene drøftes sammen med anbefaling om videre arbeid. Oppgavens konklusjon presenteres avslutningsvis i kapittel 6.

Kapittel 2

Teori

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan en etasjeskiller mellom oppvarmede rom kunne utføres så fuktsikker som mulig, med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken. Løsningene som brukes i dag har tilsynelatende ikke vært gode nok med tanke på vandampdiffusjon og luftlekkasjer. Dette kapitlet tar for seg det teoretiske rammeverket som brukes i analysen av innsamlet data, begreper og definisjoner forklares, og tidligere forskning presenteres.

2.1 Begreper og definisjoner

Det er flere begreper og definisjoner som er nødvendig å kjenne til i forbindelse med studiens aktuelle tema. Disse presenteres kort i tabell 2.1.

2.2 Etasjeskiller med trebjelkelag

Etasjeskillere skal fungere som tak og gulv for henholdsvis under- og overetasje. De skal overføre egen- og nyttelast fra gulvet til bæreveggene. Samtidig skal de tilfredsstillende krav til lyd, varme og brannmotstand.

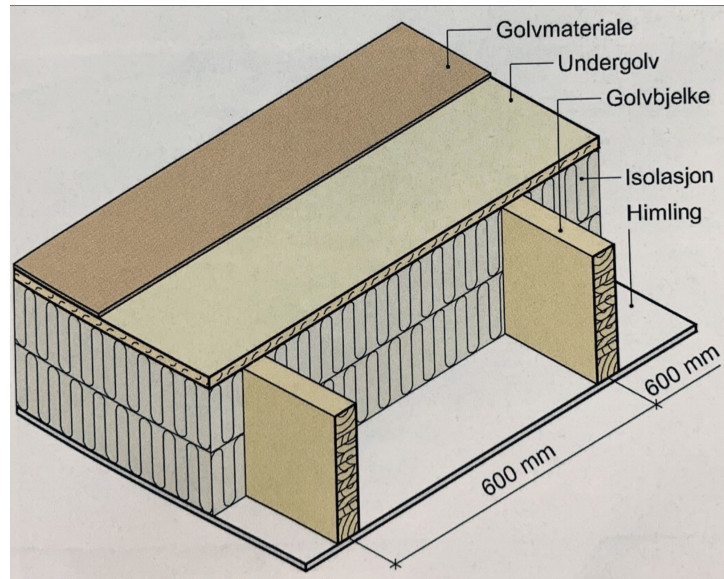
2.2.1 Oppbygning

Ifølge Edvardsen og Ramstad (2014) er det vanlig at etasjeskillere i trehus bygges med trebjelkelag som bærekonstruksjon. Bjelkene i trebjelkelaget kan bestå av konstruksjonsvirke, I-bjelker, limtrebjelker eller ulike typer fagverksbjelker. Undersiden av bjelkelaget suppleres med himling, og oversiden med undergolv og golvmateriale. Isolasjon legges mellom bjelkene. En prinsipiell oppbygning illustreres i figur 2.1.

Tabell 2.1: Sentrale begreper og definisjoner. Hentet fra SINTEF Community (2018) og SINTEF Community (2003).

Begrep	Definisjon
<i>Relativ luftfuktighet (RF)</i>	Den prosentvise vanndampmengden en luftmengde inneholder ved en viss temperatur. Se kapittel 2.3.1.
<i>Duggpunkt</i>	Også kalt duggpunktstemperatur. Luftas temperatur når den når 100% RF.
<i>Metningstrykk</i>	Trykket ved likevekt mellom gass- og væskefasen.
<i>Metningsinnhold</i>	Luftas vanndampinnhold ved fuktmetning.
<i>Kritisk fuktnivå</i>	Anbefalt grenseverdi for maksimalt fuktnivå for å unngå fuktskader.
<i>Fuktliekevt</i>	Også kalt likevektsfuktighet. Ved en gitt RF i omkringliggende luft, vil fuktinnholdet i et porøst materiale gradvis nærme seg en viss verdi. Denne verdien angir likevektsfuktigheten ved det gitte RF-nivået.
<i>Fuktproduksjon</i>	Den fuktmengden som tilføres lufta inne i en bygning per tidsenhet.
<i>Fukttilskudd</i>	Forskjell i absolutt fuktinnhold mellom inneluft og uteluft.
<i>Absolutt fuktinnhold</i>	Mengde vann i et materiale. Dette kan oppgis i både vektprosent og volumprosent. Se kapittel 2.3.2.
<i>Byggfukt</i>	Fuktmengden til et materiale når bygget tas i bruk.
<i>Sorpsjonskurver</i>	Også kalt fuktliekevtskurver. Viser sammenhengen mellom absolutt fuktinnhold i et materiale og RF i lufta ved fuktliekevt. Se kapittel 2.3.2.
<i>Vanndampdiffusjon</i>	Vanndamptransport på grunn av forskjeller i vanndamptrykk. Se kapittel 2.3.3.
<i>Fuktkonveksjon</i>	Fukttransport ved luftstrømning. Se kapittel 2.3.3.
<i>Vanndamppermeabilitet</i>	En materialegenskap som uttrykker materialets evne til å slippe gjennom vanndamp på grunn av gradient i vanndamptrykket i materialet.
<i>Vanndampmotstand</i>	Motstanden i et materialsjikt mot gjennomtrengning (diffusjon) av vanndamp på grunn av forskjell i vanndamptrykk over materialsjiktet.
<i>S_d-verdi</i>	Ekvivalent luftlagstykkelse. En størrelse som angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å gi samme vanndampmotstand som materialsjiktet.
<i>Muggvekstindeks</i>	I oppgaven omtalt som muggindeks. En verdi mellom 0 og 6 som indikerer vekstraten til muggsopp. Se kapittel 2.4.

Krav til varmeisolering i bjelkelaget varierer avhengig av hva etasjeskilleren grenser mot. Det stilles ingen krav til varmeisolering av etasjeskillere mellom oppvarmede rom. Likevel anbefales det å fylle trebjelkelaget med isolasjonsmateriale for å bedre lydisolasjonen (Edwardsen og Ramstad, 2014). Mineralullisolasjon er det vanligste isolasjonsmaterialet, men trefiberisolasjon, blåseisolasjon eller reflekterende folie kan også benyttes.



Figur 2.1: Prinsipiell oppbygning av etasjeskiller med trebjelkelag (Edwardsen og Ramstad, 2014).

Alle etasjeskillere bør ha et lufttett sjikt på over- og undersiden (SINTEF Community, 2008). Dette gjelder også for etasjeskillere mellom oppvarmede rom. Etasjeskillerens tettesjikt har følgende formål:

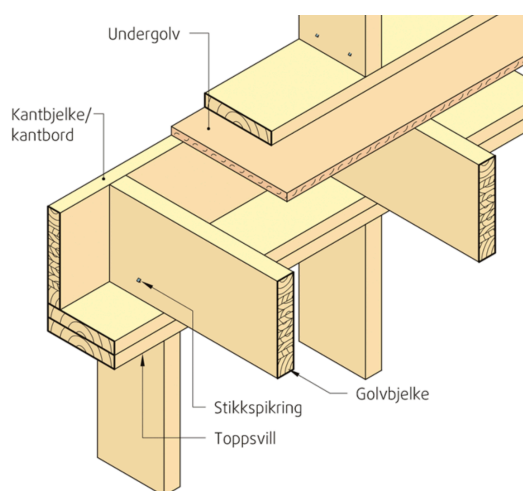
- Sikre god lufttetthet i bygningen
- Hindre gjennomtrengning av kald luft i isolasjonen
- Hindre vanndamp og fuktig inneluft i å trenge inn i etasjeskillere mot kalde loft
- Hindre støv og partikler i å falle ned i oppholdssonen
- Bidra til god lydisolering

Type tettesjikt er avhengig av plassering og funksjon. Tettesjiktet kan være et dampsperrsjikt, vindsperresjikt eller luftsperrsjikt (Edwardsen og Ramstad, 2014). Dampsperrsjikt brukes i etasjeskillerens underside mot kalde loftrom, og mot terrasser over oppvarmede rom. Maksimalt skal 1/4 av isolasjonstykkelsen ligge på dampsperras varme side for å unngå kondens. Golvmaterialet og undergolv gir tilstrekkelig dampmotstand og lufttetthet på oversiden av etasjeskiller mot det fri og mot kryperom. Vindsperresjikt brukes her ofte på undersiden. Det er også vanlig å bruke vindsperre som lufttett sjikt på undersiden av etasjeskillere mellom oppvarmede rom. Slik forhindrer man luftlekkasjer inn i bjelkelaget, samtidig som man unngår at isolasjon og støv detter ned i oppholdssonen.

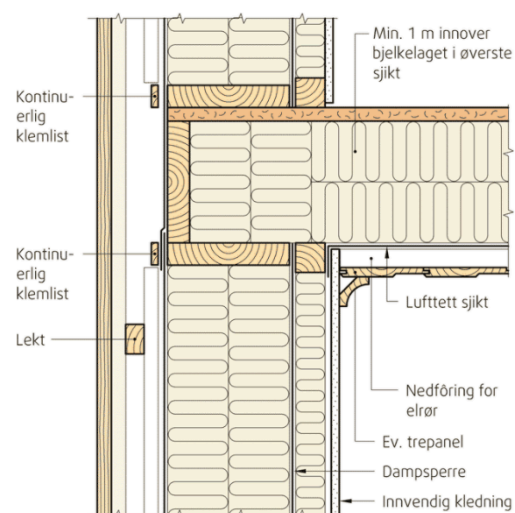
2.2.2 Opplegg

Opplegg av bjelkelag kan gjøres på inner- og yttervegger, bærebjelker og på grunnmur. Man kan i småhus forutsette at en oppleggslengde på minst 70 mm for gulvbjelker er tilstrekkelig, uten at det gjøres spesielle beregninger (SINTEF Community, 2011). For å holde bjelkene på plass og sikre mot vipping, festes de i endene i en kantbjelke, også kjent som kantbord. Kantbjelken kan bestå av vanlig trevirke som heltre eller limtre. Den kan også bestå av platematerialer av spon eller kryssfiner.

Trebjelkelagets opplegg kan utføres på flere måter. Tradisjonelt vil bjelkelaget hvile på toppsvillen til underetasjens yttervegg, se figur 2.2. Her er det vanlig at hele toppsvillens bredde brukes som opplegg for bjelkene, noe som medfører at kantbjelken legges helt ute mot vindsperran. Denne løsningen gjør det umulig å føre dampsperran forbi bjelkelaget. I slike tilfeller brukes en såkalt diskontinuerlig dampsperre (Blom og Uvsløkk, 2012). Se figur 2.3.



Figur 2.2: Tradisjonelt opplegg på trevegg (SINTEF Community, 2011).



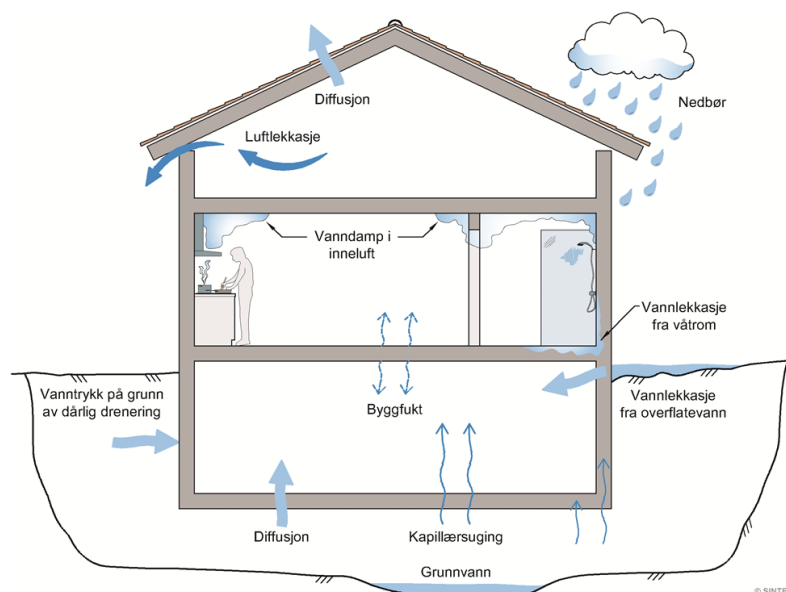
Figur 2.3: Eksempel på tilslutning mellom etasjeskiller og yttervegg av tre (SINTEF Community, 2008).

En løsning uten kontinuerlig dampsperre, gjør det vanskelig å få detaljen lufttett. Løsningen gir uheldige kuldebroverdier og medfører økt varmetap, risiko for kondens og temperaturspenninger. Med en konstruksjon som ikke er lufttett vil luftstrømmer kunne vandre ut i konstruksjonen. For å unngå slike ulemper, er det mulig å utføre overgangen med en kontinuerlig dampsperre. Her monteres bjelkelaget fast i treveggen ved hjelp av bjelkesko. Dette reduserer kuldebroverdien betraktelig og bedrer lufttettheten.

2.3 Fuktteori

Fukt er ikke skadelig i seg selv, men kan likevel skape problemer hvis det forekommer i for store mengder på feil sted (Geving og Thue, 2002). Den er medvirkende årsak til korrosjon, råte, muggsoppvekst, frostsprengning, telehiv, svinn, svelling og saltvandring i materialer. I tillegg kan den også føre til uønskede emisjoner fra byggematerialer og soppvekst som kan ha negativ påvirkning på innemiljøet.

Fukt kan stamme fra flere kilder, og ofte opptrer flere ulike fuktkilder samtidig (SINTEF Community, 2018). Det kan også transporteres på ulike måter. Figur 2.4 illustrerer de typiske fuktkildene sammen med vanlige transportformer.



Figur 2.4: Typiske fuktkilder og transportformer (SINTEF Community, 2018).

2.3.1 Luftfuktighet

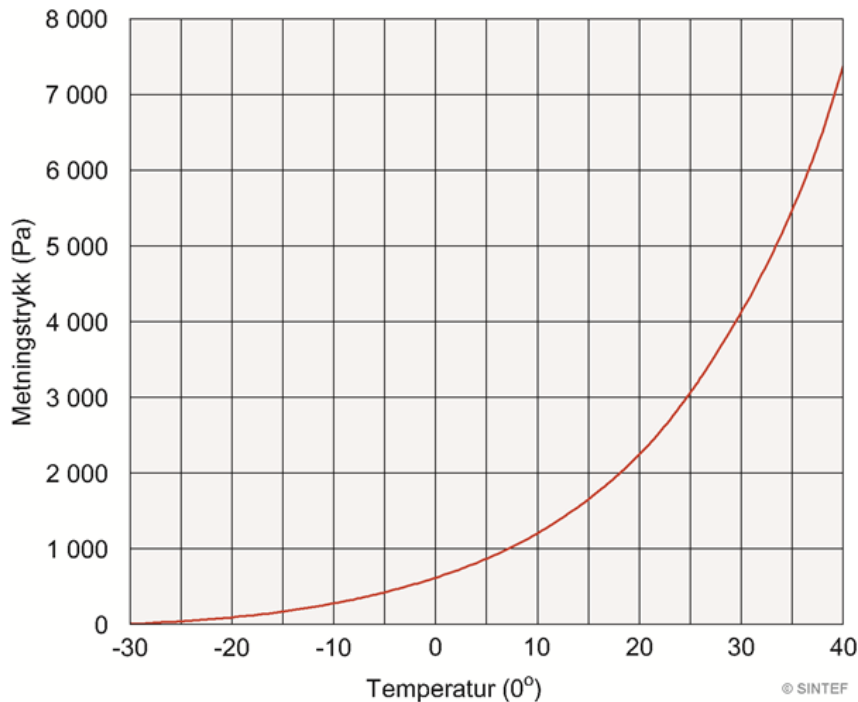
All luft inneholder en viss mengde fuktighet i form av usynlig vanndamp (SINTEF Community, 2018). Fuktinnholdet i luften kan angis på flere måter. Se tabell 2.2.

Tabell 2.2: Forskjellige måter å angi vanndampinnhold på.

Definisjon	Symbol	Enhet
Vanndampens partialtrykk	p_v	Pa
Vanndampkonsentrasjon	v	kg/m ³
Fuktgrad	x	kg/kg

Vanndampen i lufta kan ifølge Geving og Thue (2002) betraktes som en ideell gass ved normalt trykk og normale temperaturer. Dette vil si at tilstandsligningen kan anvendes på vanndampen alene eller den fuktige lufta under ett.

Det finnes en øvre, temperaturavhengig grense for hvor mye vanndamp lufta kan inneholde. Ved denne grensen er lufta mettet og har oppnådd sitt *metningstrykk* eller *metningsinnhold*. Betegnelsen for metningsinnhold og metningstrykk er henholdsvis v_{sat} [g/m³] og p_{sat} [Pa]. Den totale mengden vanndamp lufta kan inneholde ved metning, øker i takt med temperaturen. Se figur 2.5.



Figur 2.5: Vanndampens metningstrykk og temperatur (SINTEF Community, 2018).

Det er også mulig å angi fuktinnholdet som en prosentandel av metningsinnholdet. Dette kalles *relativ luftfuktighet* (RF) og beregnes på følgende måte (Thue, 2016):

$$RF = \frac{v}{v_{sat}} \cdot 100\%$$

Luft som ikke er mettet vil ha RF lavere enn 100 %. RF vil øke når lufta kjøles ned, og kan maksimalt bli 100 %. Ved temperaturen hvor RF er 100% vil det felles ut kondens eller dugg. Denne temperaturen kalles derfor *duggpunktstemperaturen* eller *duggpunktet*.

RF brukes vanligvis til å oppgi *kritisk fuktnivå*. Kritisk fuktnivå er en grenseverdi som bør overholdes for å unngå fuktskader (SINTEF Community, 2018). Kritisk fuktnivå brukes ved bygging for å avgjøre om et materiale er tørt nok til at man kan gå videre i byggeprosessen. Dette forklares ytterligere i kapittel 2.3.2.

2.3.2 Fukt i materialer

De fleste materialer som kommer i kontakt med fukt vil ta opp mer eller mindre av dette (Geving og Thue, 2002). Bygningskonstruksjoners materialer inneholder derfor en viss mengde fukt. Fukten kan være tilført i forbindelse med produksjon av materialet eller under bygging, såkalt *byggfukt*. Den kan også tilføres i etterkant gjennom fuktkildene som er illustrert i figur 2.4.

Fuktinnhold

Fuktinnhold i materialer oppgis enten som RF i porene, eller absolutt vanninnhold. Tabell 2.3 presenterer hvordan man kan angi dette. Den vanligste måten å angi fuktighet i tre på er vektprosent, u .

Tabell 2.3: Definisjoner for fuktinnhold.

Definisjon	Symbol	Enhet
Fuktmasse/Tørrstoffmasse	u	kg/kg (ev. vektprosent)
Fuktmasse/Materialvolum	w	kg/m ³
Fuktvolum/Materialvolum	ψ	m ³ /m ³ (ev. volumprosent)
Metningsgrad, Fuktvolum/Porevolum	S	Ubenevnt (ev. i prosent)

Fuktbinding

Fuktopptak i materialer er avhengig av porestrukturen til materialet, og hvordan fuktbindingene oppstår. Vann tas opp i alle materialer som har en porestruktur som ikke er helt lukket (Geving og Thue, 2002). Dette kan bindes i form av kjemisk og fysikalsk bundet vann (Thue, 2016). Det er vanligvis snakk om fysikalsk bundet vann i forbindelse med fukt. Kjemisk bundet vann har så sterke bindinger at det ikke inngår i fuktberegninger.

Fysikalsk bundet, eller fordampbart, vann deles inn i tre hovedgrupper (Thue, 2016). Dette er osmotisk og adsorptiv binding, samt kapillærkondensasjon. Osmotisk binding skyldes tilstedeværelsen av salter. Det er sjelden involvert store mengder salt. I tillegg er det vanskelig å skille mellom adsorptivt og osmotisk bundet vann. Dette gjør at effekten fra osmotiske bindinger vanligvis ses bort fra.

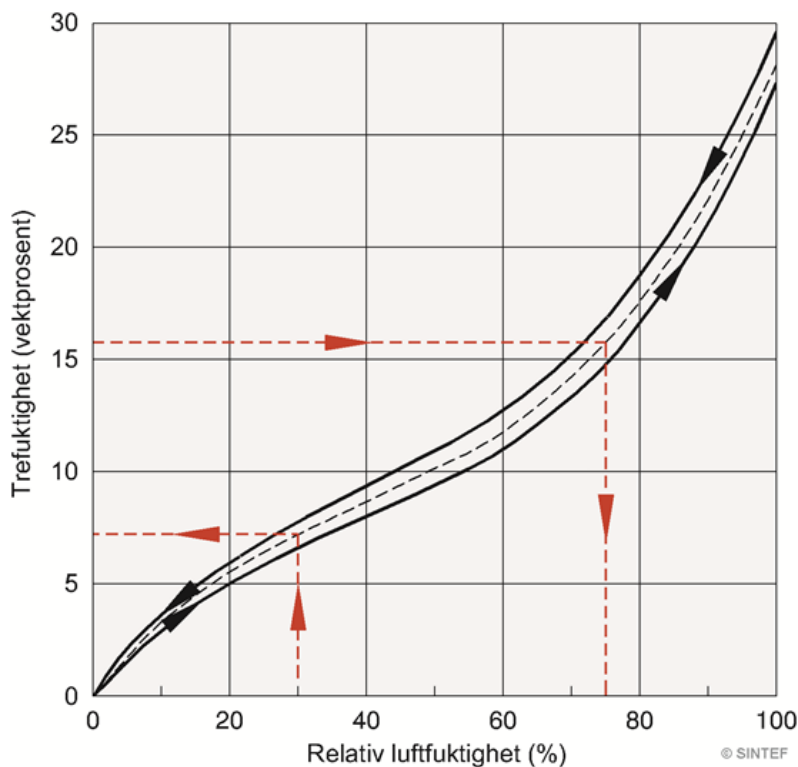
Adsorptiv binding forårsakes av elektrostatiske tiltrekningskrefter mellom vannmolekylene og poreveggene i det faste stoffets overflatelag. Vannmolekylene absorberes lagvis av poreveggene med avtagende bindingskrefter utover i lagene. Dersom materialet i utgangspunktet er tørt, vil adsorpsjonen stå for fuktopptaket i oppfuktingens startfase. Etter hvert vil kapillærkondensasjonen overta.

Kapillærkondensasjonen er en sekundærvirkning av adsorpsjonskreftene. De adsorberte molekyllagene vil bli tykkere etter hvert som RF øker. Lagene på to motsatte porevegger vil etter hvert møtes. Kapillærkondensasjon gir ikke utslag før RF er 80-90 prosent.

Sorpsjonskurver

Fukt i et materiale varierer med den omkringliggende luftas RF. Dersom romluftas temperatur og RF holdes konstant, vil materialet etter hvert oppnå *fuktlivekt*. Damptrykket i de adsorberte væskesjiktene er da like stort som romluftas damptrykk. Hvis dette materialet plasseres i luft med samme temperatur, men annen RF, vil det etter hvert tilpasse seg en ny likevekt.

En *sorpsjonskurve* viser sammenhengen mellom *absolutt fuktinnhold* i et materiale og RF i lufta ved likevekt (SINTEF Community, 2018). Den lages ved å sette opp mange slike likevektspunkter. Se figur 2.6. Ved en annen temperatur vil sorpsjonskurven ha lik utforming, men ligge lavere eller høyere i diagrammet. For situasjoner i bygninger vil sorpsjonskurven være tilnærmet lik for alle opererende temperaturer (SINTEF Community, 2015). De ulike kurvene med piler er et resultat av hysteresese. Dette innebærer at likevektskurven innstiller seg på et litt lavere nivå når trevirke fuktes opp enn når det tørkes ut.



Figur 2.6: Sorpsjonskurve for furu (SINTEF Community, 2018).

2.3.3 Fukttransport

Fukt kan transporteres i både damp- og væskeform (SINTEF Community, 2018). I dampfasen skjer hovedsakelig transporten ved diffusjon og fuktkonveksjon. Transport i væskeform omfatter blant annet vannlekkasjer, vannovertrykk, slagregn på fasader og kapillære

krefter inne i materialet. Dette er relativt komplisert å beregne, og vil ikke dekkes ytterligere i denne oppgaven.

Diffusjon

Diffusjon er spredning av et stoff i et annet stoff (Pedersen, 2019). To gasser i kontakt vil alltid blande seg på grunn av molekylenes bevegelse. I vanndamp vil vannmolekylene bevege seg fra områder med høyt damptrykk til områder med lavere damptrykk (SINTEF Community, 2018), såkalt *vanndampdiffusjon*.

I grovporøse materialer, eksempelvis mineralull, er diffusjon den dominerende transportmekanismen (Thue, 2016). Slik kan vanndampdiffusjon forårsake skadelig høy RF og kondens inne i konstruksjoner over tid. Skader forårsaket av diffusjon, skyldes ofte feil konstruksjonsvalg og kan berøre store deler av konstruksjonen (Geving og Thue, 2002).

Fuktkonveksjon

Fuktkonveksjon er fukttransport ved luftstrømning (Thue, 2016). Luftstrømmen går fra høyere til lavere lufttrykk. I enkelte tilfeller kan luftstrømmene i en konstruksjon bli store og sørge for at vanndamp transporteres i store mengder.

Konveksjon kan deles i to former: naturlig og påtvunget. Naturlig konveksjon drives av temperaturforskjeller i ulike deler av konstruksjonen. Fukten omfordes i konstruksjonen gjennom transport i luftfylte hulrom eller luftpermeable materialsjikt. Påtvunget konveksjon forårsakes av ulikheter i luftas totaltrykk over en bygningsdel. Hovedfaktorer for påtvunget konveksjon kan være trykkvariasjoner på grunn av vind, overtrykk eller undertrykk på grunn av ventilasjon, og temperaturforskjeller som fører til skorsteinseffekten.

Luftlekkasjer

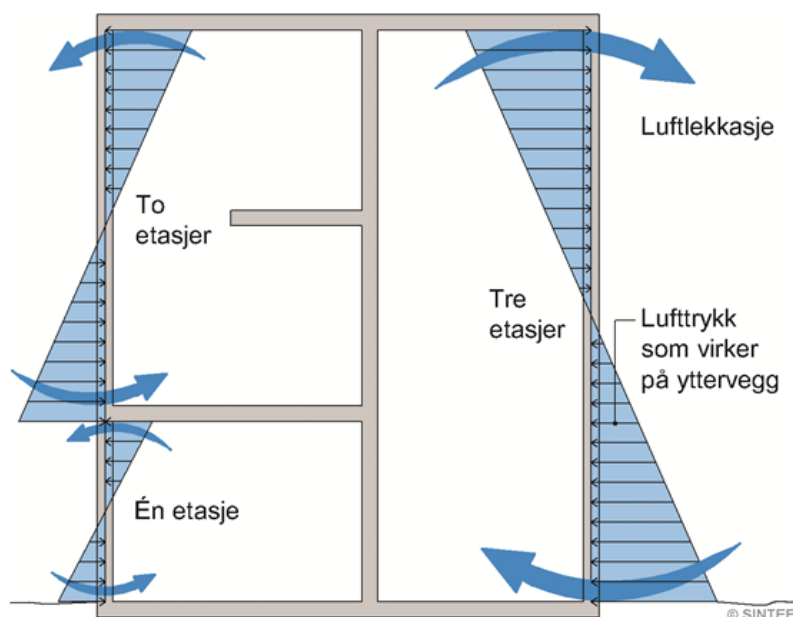
Luftlekkasjer er en form for påtvunget konveksjon. Vanndamptransport gjennom luftlekkasjer skjer ved at fuktig luft drives gjennom utettheter i ytterkonstruksjonen og skyldes ofte feil i konstruksjonsutførelse. Dette er eksempelvis utette skjøter i dampsperra.

Luftlekkasjer har ofte større betydning enn diffusjon. Når luftstrømmen kjøles ned på vei mot kald side av konstruksjonen kan store kondensmengder oppstå. Derfor er faren for fuktskader som regel størst ved innvendig overtrykk, slik at luftstrømmen går innenfra og utover.

Skorsteinseffekten

Skorsteinseffekten forårsakes av densitetsforskjell mellom inne- og uteluft (SINTEF Community, 2018). Effekten oppstår ved at varm luft stiger når den fortreges av kaldere luft. Se figur 2.7. Lave utetemperaturer om vinteren skaper overtrykk inne som trykker varm luft ut i konstruksjonen. Dette kan forårsake skader ved kondens og oppfukting når

varm, fuktholdig inneluft møter kalde overflater. Størrelsen på overtrykket er avhengig av temperaturforhold, bygningens høyde og fordeling, samt areal av utettheter.



Figur 2.7: Illustrasjon av skorsteinseffekten (SINTEF Community, 2018).

Vanndamppermeabilitet

Vanndamppermeabilitet uttrykker materialets evne til å slippe gjennom vanndamp på grunn av gradient i vanndamptrykket i materialet (SINTEF Community, 2003).

Vanndampmotstand

Det finnes flere måter for å uttrykke *vanndampmotstanden* til et materiale. En vanlig måte å uttrykke det på er ekvivalent luftlagstykkelse, S_d -verdi (SINTEF Community, 2018). Verdien angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme vanndampmotstand som materialsjiktet (Geving og Thue, 2002). En grunn til at denne uttrykksformen foretrekkes er at den uttrykkes i meter og tallene er lett "håndterlige". Verdiene varierer mellom 10 mm for svært dampåpne vindsperrer til 200 m for dampette takbelegg.

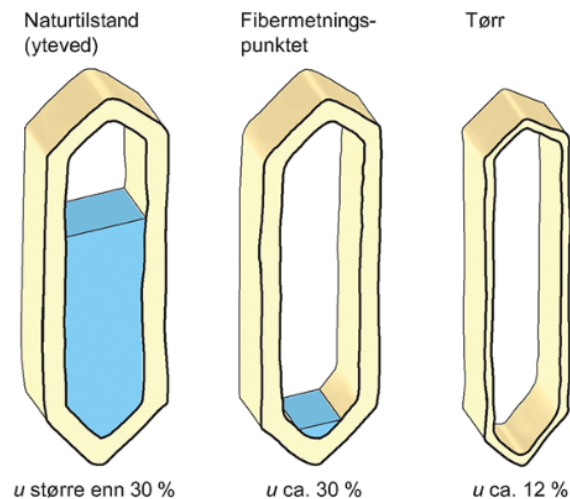
2.3.4 Fuktegenskaper for ulike trebaserte materialer

Tre

Tre er bygd opp av ulike typer celler (Thue, 2016) med forskjellige funksjoner. Noen bidrar til å gi treet struktur, mens andre danner kanaler for transport av næring. De fleste cellene er orientert i treet vekstretning. Treet kapillære sugeeve er størst i denne retningen og følgelig er væskestrømmen i denne retningen også størst. Vanndamppermeabiliteten er i

utgangspunktet lav, men øker vesentlig ved høyere fuktinnhold (Geving og Thue, 2002). Dette fører til at tre får en lavere vanddampmotstand ved høyere fuktinnhold.

Et fenomen som kan oppstå i forbindelse med treverk er krymping. Når fuktinnholdet kommer under fibermetningspunktet, minsker volumet (Larsen, 2019). Fibermetningspunktet er nådd når vannet i cellenes hulrom er tørket ut og celleveggene fremdeles er mettet med vann. Illustrasjon er gitt i figur 2.8. Ifølge Geving og Thue (2002) er fibermetningspunktet ved ca. 30 vektprosent for furu og gran. Krympingens størrelse er bestemt av hvor langt under dette punktet uttørringen går.



Figur 2.8: Skjematisk illustrasjon av fuktinnholdet, u , i trevirkeets celler (SINTEF Community, 2015).

Sponplate

Sponplater er framstilt av spon fra trevirke (SINTEF Community, 2016). Vanndampermeabiliteten og hygroskopiske fuktlikevekt til sponplater er omtrent som for gran og furu. Vannpermeabiliteten øker vesentlig ved høyere fuktinnhold. Platene er sjelden impregnert mot sopp.

OSB-plate

Oriented Strand Board (OSB-plater) er en spesiell type sponplater med større spon. Platene har mindre fuktbevegelser enn vanlige sponplater, og er mer dampåpne (SINTEF Community, 2003).

Kryssfiner

Kryssfiner er plater som består av flere sammenlimte finerark med fiberretningen vinkelrett i forhold til hverandre (SINTEF Community, 2017). Vanndampermeabilitet ligger på omtrent samme nivå som for gran og furu (Geving og Thue, 2002). Vanndampermeabiliteten øker vesentlig ved høyere fuktinnhold.

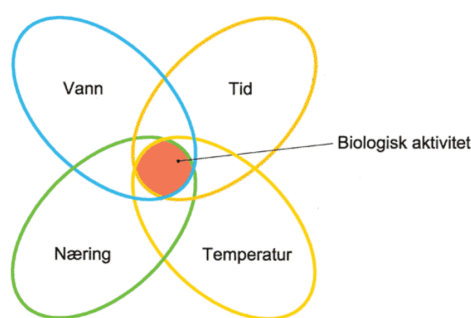
2.4 Muggvekst

Muggsopp er en samlebetegnelse for mikroskopiske, sporedannende sopper som finnes i både inne- og utemiljøet (Kempton, Kokogiannakis og Cooper, 2021). Det vokser ved høy luftfuktighet på overflater med tilgang på næringsstoffer og danner synlige kolonier der sporene vokser opp (Levy, 2019). I det naturlige miljøet er ikke mugg alltid skadelig, men konsentrert tilstedeværelse innendørs utgjør en helsemessig risiko (Verdier *et al.* 2014). Samtidig kan det også forårsake dårligere bestandighet for organiske bygningsmaterialer (Peat, Dickerson og Li, 2007).

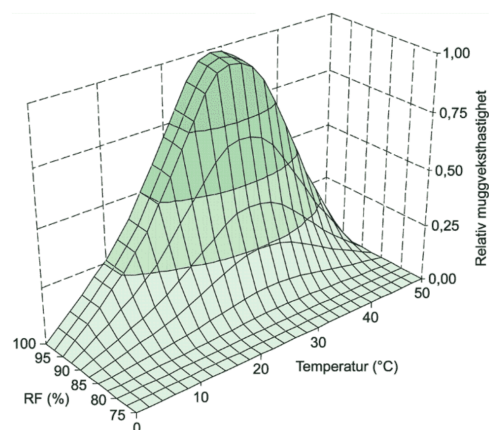
Sopp trenger næring, vann/fukt, gunstig temperatur og tid for å vokse (SINTEF Community, 2005). Se figur 2.9. Muggsopp lever av organisk materiale, og det er først og fremst celluloseholdige materialer som blir angrepet innendørs. Det er verdt å merke seg at alle materialer i prinsipp kan bli angrepet av muggsopp under gunstige vekstforhold.

Tilgang på fukt er den viktigste faktoren som påvirker muggveksten (Geving og Thue, 2002). Muggvekst på overflater skjer typisk mellom 80 % og 100 % RF for ulike materialer. Det kan også skje ved lavere RF, men de optimale fuktnivåene er 95 – 98 %.

Muggvekst vil forekomme i temperaturspennet 5-40 °C (SINTEF Community, 2005). Optimal veksttemperatur for de fleste muggsoppartene ligger rundt 25-30 °C . Dersom temperaturen synker noe lavere enn 5 °C vil aktiviteten stoppe, men soppen dør ikke. Ved temperaturer opp mot 40-50 °C dør de fleste muggsoppartene. Sammenhengen mellom RF, temperatur og vekstrate fremstilles i figur 2.10.



Figur 2.9: Forutsetninger for vekst av muggsopp (SINTEF Community, 2005).



Figur 2.10: Relativ veksthastighet for de vanligste muggsoppartene (SINTEF Community, 2005).

Eksposeringstiden påvirker muggveksten (Geving og Thue, 2002). For at vekst skal oppstå må fukt- og temperaturforholdene være gunstig over en viss periode. Ved lav RF vil det ta lang tid før sporene begynner å vokse. Dette kan ta alt fra noen uker til måneder. Dersom fuktnivåene er høye og temperaturen er ideell, kan mugg blomstre etter bare noen dager.

Forskjellige faktorer og vekstbetingelser kan gjøre det utfordrende å forutsi hvor mye muggvekst som vil oppstå på ulike overflater. Derfor er det utviklet flere beregningsmodeller som kan fungere som analysegrunnlag for å bedømme hvor utsatt ulike konstruksjoner er. Et eksempel på dette er Hukka og Viitanen (1999) sin matematiske modell for å forutsi muggvekst i trematerialer, VTT-modellen.

VTT-modellen ble videreutviklet av Ojanen *et al.* (2011) for å gjelde flere typer materialer, *Mould Growth Model* (MGM). Modellen gjør det mulig å vurdere risiko for muggvekst og analysere de kritiske tilstandene for begynnende biologisk aktivitet (Viitanen *et al.* 2010). Modellen bestemmer *muggvekstindeksen* (MGI, heretter kalt muggindeks) til et materiale ved hjelp av numeriske beregninger. Indeksen følger en skala fra 0 til 6 som indikerer henholdsvis minst og mest mugg. Indeksene er gitt og forklart i tabell 2.4.

Tabell 2.4: Muggindeks av Hukka og Viitanen (1999).

Indeks	Vekstrate
0	Ingen muggvekst
1	Små mengder mugg synlig på overflate (mikroskop), initielt vekststadie
2	Flere lokale muggvekstkolonier synlig på overflate (mikroskop)
3	< 10% dekning (visuelt), eller <50% dekning (mikroskop)
4	10–50% dekning (visuelt), eller > 50% dekning (mikroskop)
5	Store mengder muggvekst på overflate, >50% dekning visuelt
6	Tett dekning av muggvekst, ca. 100% dekning

Ojanen *et al.* (2011) viser til at muggvekstens plassering på bygningskroppen avgjør hva som ansees som kritisk muggindeks. På en overflate som er direkte eksponert for innneklimaet skal muggindeksen alltid være mindre enn 1. På disse overflatene skal det med andre ord ikke forekomme noe muggvekst, heller ikke på mikroskopisk nivå. Kravene trenger ikke være like strenge lenger ut i konstruksjonen (Ojanen, Viitanen og Peuhkuri, 2007). Her anbefales en indeks lavere enn 3. Dette begrunnes med at noe muggvekst på utvendige overflater må forventes.

VTT-modellen baserer seg på ligning 2.1 (Ojanen *et al.* 2011). Denne ligningen beskriver endringen i muggindeks per tidsenhet.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7 \cdot \exp(-0,68 \ln T - 13,9 \ln RH + 0,14 W - 0,33 SQ + 66,02)} k_1 k_2 \quad (2.1)$$

I ligning 2.1 tilsvarende variablene følgende:

- W : tresort (0 = furu og 1 = gran)
- SQ : overflatekvalitet ($SQ = 0$ for saget overflate, $SQ = 1$ for ovnstørket overflate)
- t : tid [h]
- k_1, k_2 : koeffisient for vekst

For andre materialer enn tre, settes $SQ = 0$. Faktoren k_1 representerer intensitetskoeffisienten som baseres på vekstnivået. k_2 representerer tilpasningen til vekstintensiteten når muggindeksen nærmer seg toppverdien. Disse to verdiene er empiriske. Verdiene er avhengig av hvor sensitive materialene er for muggvekst. Derfor er materialer delt inn i fire forskjellige sensitivitetsklasser. Se tabell 2.5.

Tabell 2.5: Sensitivitetsklasser for muggvekst (Ojanen *et al.* 2011).

Sensitivitetsklasse	Materialer
Svært sensitiv	Ubehandlet treverk, inneholder mye næring til biologisk aktivitet
Sensitivt	Høvlet treverk, limtre, trebaserte plater, produkter belagt med papp
Middels motstandsdyktig	Betong og plastbaserte materialer
Motstandsdyktig	Glass og metallprodukter, materialer med effektiv beskyttelsesbehandling

Det er enda to faktorer som tas høyde for i den numeriske beregningen av muggindeksen. Dette er kritisk RF ($RF_{kritisk}$) for vekst og nedadgående muggindeksnivå ved kalde eller tørre perioder. Kritisk RF betegner i dette tilfellet grensen for når RF er høy nok til at muggvekst kan oppstå. Den beregnes slik det går frem av ligning 2.2.

$$RF_{kritisk} = \begin{cases} -0,0026 \cdot T^3 + 0,160 \cdot T^2 - 3,13 \cdot T + 100 & \text{hvis } T \leq 20^\circ\text{C} \\ 80\% & \text{hvis } T > 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.2)$$

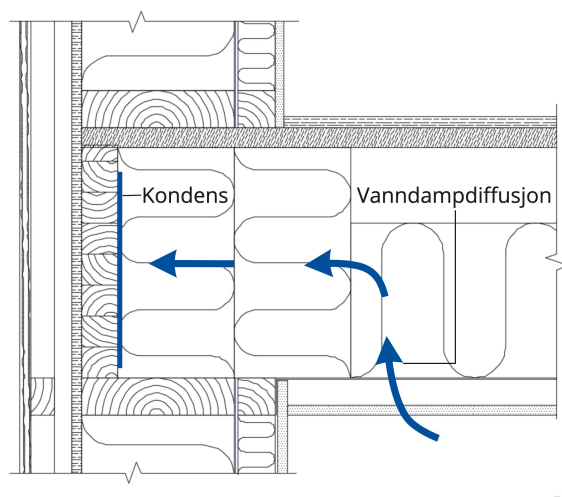
I perioder med lav temperatur og RF, sørger VTT-modellen for at muggindeksen reduseres. Hvis slike forhold holder seg over tid, vil muggindeksen synke lineært. Laboratorieobservasjoner gjort av Hukka og Viitanen (1999) ligger til grunn for modellen for synkende muggindeks. Det er knyttet en vesentlig del usikkerhet til modellen på grunn av variasjonen i reduksjon er svært avhengig av materialet. Effekten av rask skiftende RF er heller ikke undersøkt grundig nok. Som en konsekvens av dette anbefales det å benytte en lav reduksjonsfaktor når modellen brukes.

Det er svært mange faktorer som påvirker biologisk aktivitet på overflaten til et materiale (Viitanen *et al.* 2010). I tillegg til faktorene beregningsmodellen tar utgangspunkt

i, er blant annet tykkelse på materialets lag kombinert med lokal overflatetemperatur og masseoverføringskoeffisient relevant. Derfor er det viktig å merke seg at dette kan medføre en viss forskjell mellom datasimulert aktivitet og observert muggvekst in situ.

2.5 Skader i kantbjelken

Den tradisjonelle utførelsen av trebjelkelag i småhus innebærer at himlingen har en lufttett utførelse. Se kapittel 2.2. Dette skal hindre luftlekkasjer fra å gå i konstruksjonen. Slik unngår man varm luft i å kondensere i møte med lavere temperatur. Samtidig er det ønskelig at det lufttette sjiktet skal være dampåpent dersom etasjeskilleren befinner seg mellom oppvarmede rom. Slik risikerer ikke byggfukt å stenges inne mellom to tette sjikt, med en forutsetning om at gulvbelegget er rimelig damptett. Det gir vanndamp fra underliggende rom muligheten til å diffundere ut i konstruksjon i situasjoner hvor diskontinuerlig dampsperre benyttes. Se figur 2.11.



Figur 2.11: Illustrasjon av potensielt kondensscenario for kantbjelken.

Som nevnt tidligere har varm luft en større kapasitet til å holde på fuktighet enn kald luft. Innendørs er det derfor ikke vanlig å observere kondens, og det er heller ikke vanlig i bjelkelaget mellom oppvarmede rom. Dette er fordi temperaturen ikke er lav nok til å forårsake kondens. Dersom denne innelufta beveger seg opp i bjelkelaget og utover mot kantbjelken, vil derimot risikoen for kondens øke. Kantbjelken ligger tett ut mot ytterveggen, ofte inntil vindsperra. Temperaturen på kantbjelkens overflate er derfor en vesentlig lavere enn temperaturen i oppholdssonen. Kantbjelken utgjør i tillegg en høyere dampmotstand enn isolasjonsmaterialene som er benyttet. Følgelig vil kondens kunne oppstå når inneluftas RF øker til 100 prosent i kontakt med den kalde kantbjelken. I perioder kan dette føre til en potensiell risiko for kondens og muggvekst ute mot kantbjelken.

2.6 Simuleringsprogrammer

Beregningsprogrammer er viktige hjelpemidler i bygningsfysisk prosjektering. En økende kompleksitet i energi- og miljøutfordringer, gjør bygningssimulering til en effektiv metode for å støtte design og drift av bygninger (Hensen og Lamberts, 2012). Det er utviklet flere programvarer for å simulere ulike fagområder i bygg. Denne masteroppgaven tar for seg hygrotermisk simulering i tillegg til risikoanalyse for muggvekst. For å gjennomføre dette er WUFI 2D og WUFI Mould Index VTT benyttet.

2.6.1 WUFI 2D

WUFI 2D er en programvare utviklet ved Fraunhofer Institut für Bauphysik (Fraunhofer IBP) i Tyskland (Geving, 2016). Det er et Windows-basert program for beregning av koblet varme- og fukttransport i bygningskomponenter. Det gir en realistisk beregning av ikke-stasjonære, hygrotermiske forhold i bygningsdeler av flere sjikt med varierende klimabelastninger.

Programvaren lar brukeren bestemme geometrien til en byggdetalj ved å bygge opp av rektangler i et todimensjonalt koordinatsystem. Videre velges ulike materialer som konstruksjonen består av før randbetingelser og initialverdier bestemmes. Transportmekanismene som WUFI 2D tar høyde for er gitt i tabell 2.6.

Tabell 2.6: Transportmekanismer i WUFI 2D (Künzel, 1995).

Varmetransport	Varmeledning
	Entalpiendringer ved faseoverganger i fukt
	Kortbølget stråling
	Langbølget stråling
Damptransport	Vanddampdiffusjon
	Løsningsdiffusjon
Væsketransport	Kapillærkonduksjon
	Overflatekrypning

Flere faktorer bestemmer et materiales hygrotermiske egenskaper. Eksempelvis er fukt- og varmeegenskapene til et materiale avhengig av både temperatur og fuktinnhold. Det vil si at materialegenskapene endrer seg i tråd med varierende fuktinnhold. Derfor trenger WUFI et sett gitte parametere som grunnlag for å kjøre beregninger. Se tabell 2.7.

WUFI 2D er utstyrt med en materialdatabase hvor det er mulig å velge mellom ulike materialer. Materialene parametere som tilsvarer reelle forhold i størst mulig grad. Materialparameterne kan tilpasses etter behov.

Tabell 2.7: Nødvendig input-data i WUFI 2D (Künzel, 1995).

	Parameter	Enhet
Basis	Romdensitet	[kg/m ³]
	Porøsitet	[m ³ /m ³]
	Spesifikk varmekapasitet for tørt materiale	[J/kgK]
	Varmekonduktivitet for tørt materiale	[W/mK]
	Vanndampdiffusjonsmotstand for tørt materiale	[-]
Fuktavhengig	Fuktlagringsfunksjon	[kg/m ³]
	Væsketransportkoeffisient for oppsug	[m ² /s]
	Væsketransportkoeffisient for omfordeling	[m ² /s]
	Fuktavhengig varmekonduktivitet	[W/mK]
	Fuktavhengig vanndampdiffusjonsmotstand	[-]
Klimadata	Regnmengde på overflate	[l/m ² h]
	Fluks for kortbølget stråling	[W/m ²]
	Utendørs lufttemperatur	[°C]
	Utendørs RF	[0–1]
	Innendørs lufttemperatur	[°C]
	Innendørs RF	[0–1]
	Gjennomsnittlig trykk over kalkulasjonsperioden	[hPa]

For randbetingelser kan man velge mellom utendørs, innendørs eller adiabatisk grensesnitt. Det er mulig å innhente klimadata fra forskjellige steder i Europa, Nord-Amerika og Japan for utendørs randbetingelser. Som klimadata blir Moisture Design Reference Year (MDRY) benyttet (Geving og Holme, 2010). MDRY er klimadata på timebasis valgt ut for å representere en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet. Timesverdiene er bestemt ved lineær interpolasjon (Thue og Oustad, 2007). I tillegg bestemmes varmegjennomgangskoeffisient, absorptivitet og konstruksjonens himmelretning.

Før simuleringen kan igangsettes, må startbetingelser og ønsket format på resultatfil bestemmes. Når simuleringen er ferdig, kan resultatene fremstilles grafisk, som rådata eller video.

2.6.2 WUFI Mould Index VTT

WUFI Mould Index VTT (heretter kalt VTT-tillegget) er et programtillegg til WUFI. Det er utviklet av VTT Technical Research Centre of Finland og Fraunhofer IBP for å forutse muggvekst som funksjon av materialtype, temperatur og RF (WUFI, 2021). Det er en matematisk-empirisk modell som baserer seg på arbeidene til Ojanen *et al.* (2011) og Viitanen *et al.* (2010). Se ligning 2.1.

VTT-tillegget skiller mellom de fire sensitivitetssklassene som er presentert i tabell 2.5. Samtidig tar det høyde for at muggvekst kan være begrenset over lengre perioder hvor forholdene ikke ligger til rette for det. Evalueringen for muggvekstrisiko har i tillegg et trafikklysskjema basert på muggindeksen, hvilket indikerer hvor kritiske forholdene er i de enkelte tilfellene med bakgrunn i hvor eksponert konstruksjonen er for inneklime.

2.7 Tidligere forskning

Muggvekstrisiko i kantbjelken er svært lite forsket på. Det er kun oppdrevet én artikkel som har undersøkt den aktuelle problemstillingen. Dette er en masteroppgave skrevet av Engen (2020) som gjennomgår en fuktteknisk analyse av trebjelkelagets kantbjelke.

2.7.1 Engen (2020)

Engen (2020) var den første til å studere fuktproblematikk i kantbjelken. Gjennom simuleringer i WUFI 2D og WUFI Mould Index VTT, ble det undersøkt hvor mye fuktighet og muggvekst som kunne forventes i kantbjelken som følge av parameterendringer i overgangen mellom etasjeskiller med trebjelkelag og yttervegg.

Det ble gjennomført en parameterstudie og en tiltaksanalyse. I parameterstudien så Engen på variasjon i enkeltparametere, for å undersøke hvilke parametere som bidrar og hvilke som motvirker fuktbelastning på kantbjelken i tillegg til muggvekstrisiko. Tiltaksanalysen bygger på parameterstudien, og ser på tiltak som kan redusere fuktigheten og risikoen for muggvekst i kantbjelken.

I studien kom det frem at kantbjelken oppnådde svært høy RF og var utsatt for vesentlig muggvekstrisiko. Parametere som tilførte fuktighet til konstruksjonen, slik som fuktig inne- og uteklime, ble anbefalt å begrenses så mye som mulig. I tiltaksanalysen bidro to ting til redusert muggvekstrisiko. Bruk av vertikalt sperresjikt mellom kantisolasjonen og bjelkelagsisolasjonen ført til redusert fuktpåkjenning og risiko for muggvekst. Det samme gjaldt inntrukket kantbjelke hvor kantbjelken ble flyttet lenger inn i konstruksjonen mot varm side.

Kapittel 3

Metode

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan en etasjeskiller kan utføres så fuktsikker som mulig i overgang til yttervegg mellom oppvarmede rom, med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken. Løsningene som brukes i dag har tilsynelatende ikke vært gode nok med tanke på vanddampdiffusjon og luftlekkasjer. For å undersøke dette ble det adressert tre forskningsspørsmål:

1. Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?
2. Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?
3. Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

Opgaven er todelt og kombinerer kvalitativ og kvantitativ metode. Bruk av flere metoder og triangulering er nødvendig for å skaffe en inngående forståelse av fenomenet som studeres (Bloomberg og Volpe, 2008). Det ble gjennomført innledende intervjuer etterfulgt av en parameterstudie. Formålet med intervjuene var å kartlegge erfaringer knyttet til problemer i kantbjelken. Samtidig var det aktuelt å orientere seg om hvilke typer data som var aktuelle å bruke for å belyse problemstillingen i parameterstudien. Deler av metodedelen er hentet fra egen prosjektoppgave (Haandlykken og Skanke, 2020).

3.1 Intervju

Intervju er et fundamentalt verktøy for en kvalitativ studie (Kvale, 2007; Bloomberg og Volpe, 2008). Intervjumetoden ble vurdert å ha størst nytte innledningsvis på grunn av mangelen på forskning som omfatter det aktuelle tema. Intervjuene ble gjennomført som semistrukturerte intervjuer. Intervjuprosedyren presenteres i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Intervjuprosedyre.

Steg	Fokus
Tematisering	Formål og tema ble definert.
Utforming	Planlegging av intervjuer med tømrere, byggmestre og rådgivende ingeniører. Intervjuguide ble utarbeidet.
Gjennomføring	8 intervjuer fordelt på 7 informanter ble gjennomført. Varighet ca. 20 – 30 minutter. Det ble gjort videoopptak av intervjuene.
Transkribering	Alle intervjuene ble transkribert i form av ren transkribering og resulterte i ca. 45 sider med transkripsjoner.
Analyse	Intervjuene ble kategorisert etter byggemåter og erfaringer.
Verifisering	Reliabilitet og validitet ble forsøkt gjennomført kontinuerlig gjennom intervjuperioden.
Rapportering	Resultatene ble rapportert i denne masteroppgaven.

3.1.1 Formål og tema

Innledningsvis ble formål og tema definert i samråd med veileder og to andre fagpersoner. Problemstillingen ble konkretisert gjennom formulering av forskningsspørsmål.

3.1.2 Utforming og utvalg

Forskningsspørsmålene ga grunnlaget for en intervjuguide som ble revidert i to omganger gjennom veiledningsmøter. Se vedlegg A. Strategisk utvalg med undergrupper ble brukt som utvalgsstrategi for å gjennomføre studien. Et slikt utvalg ser på undergrupper og tilrettelegger for sammenligninger imellom disse (Bloomberg og Volpe, 2008). Dette ble gjort for å kunne gå i dybden, og snakke med representanter som sammen hadde bred erfaring innenfor boligbygging og fuktproblematikk. Undergrupper ble i denne studien forstått som aktører involvert i boligbygging, med forbindelse til ulike uteklime. Videre ble det satt inklusjonskriterier for å få et utvalg representanter. Inklusjonskriteriene var følgende:

- Representanten var tømrer, byggmester eller rådgivende ingeniør.
- Representanten hadde minst 3 års erfaring innen norsk boligbygging.

3.1.3 Gjennomføring

Potensielle deltagere ble kontaktet per e-post. Totalt ble 20 personer kontaktet. Av disse var det 7 som godtok, 1 av slo, mens 12 ikke responderte. De som aksepterte, undertegnet en forskningstillatelse hvor de gav samtykke til opptak av intervjuene. Se forskningstillatelsen i vedlegg B. Det ble totalt gjennomført 8 intervjuer, da en informant ble intervjuet i to omganger.

3.1.4 Analyse og rapportering

Det ble gjort videoopptak av alle intervjuene. Opptakene ble transkribert i form av ren transkribering. Deretter ble opptakene slettet av personvern hensyn. Teksten fra transkriberingen ble videre bearbeidet og tematisert hvor de større ideene og fellesnevnerne ble kartlagt.

Resultatene ble sammenlignet opp mot teori, og de dannet videre et grunnlag for parameterstudien. Resultatene er presentert i kapittel 4.1 og sees i sammenheng med parameterstudien i diskusjonskapittelet, kapittel 5.

3.1.5 Verifisering

Kvalitative studier skiller seg fra kvantitative studier når det kommer til argumentasjon for reliabilitet (Bloomberg og Volpe, 2008). Forskerne må kontinuerlig kontrollere enhver partiskhet som kan oppstå underveis i undersøkelsen (Guba og Lincoln, 1989; Curtin og Fossey, 2007; Kvale, 2007; Dalland, 2012). Guba og Lincoln (1989) presenterer 4 kvalitetskriterier som må fastsettes ved en kvalitativ studie: troverdighet, pålitelighet, bekreftbarhet og overførbarhet.

Troverdighet

Troverdighet betyr i hvilken grad man, ut fra resultatene av et forsøk eller en studie, kan trekke gyldige slutninger om det man har satt seg som mål å undersøke (Dahlum, 2020). Det involverer hvor stor sammenheng det er mellom logisk valg av metode opp mot forskningsspørsmål og problemstilling, og hvilken type forklaring forskerne vil formidle. (Bloomberg og Volpe, 2008).

For å oppnå tilstrekkelig troverdighet, ble det triangulert datakilder for datainnsamling. Innsamling av data fra flere kilder gir en bredere forståelse av tema som undersøkes. Diskusjon med veileder, ga både et godt bidrag til å velge en passende metode for oppgaven, og å drøfte resultatene av intervjuene.

Pålitelighet

Guba og Lincoln (1989) beskriver pålitelighet som forfatterens evne til å formidle og presentere innsamlet data. For å sikre en pålitelig oppgave, har resultatene og presentasjonen av disse blitt revidert gjentatte ganger. Dette har blitt gjort gjennom faglige diskusjoner og drøftelser.

Bekreftbarhet

Bekreftbarhet blir av Bloomberg og Volpe (2008) beskrevet som forfatterens evne til å være nøytral. Dette vil si om funnene er formet av respondentene eller av forfatterens partiskhet.

Hensikten har hele veien vært å søke forståelse rundt det aktuelle tema. Det er derfor lagt stor vekt på intervjudeltakernes svar og synspunkter for å kartlegge funn som er gjort i sammenheng med denne oppgaven.

Overførbarhet

Overførbarhet går ut på funnenes evne til anvendelse i andre sammenhenger (Patton, 2014). I denne studien er det forsøkt å fordele intervjudeltakerne utover hele landet. Dette er for å kartlegge erfaringer knyttet til ulike uteklima og for å se svarene i en større sammenheng.

3.1.6 Styrker og svakheter

Intervju som metode har både styrker og svakheter knyttet til seg. Spørsmålene kan være uklare og det kan være problemer knyttet til opptak, transkribering eller konsentrasjon.

De positive sidene av intervju involverer blant annet at det bidrar til dybdekunnskap om meninger, erfaringer og argumenter ved å snakke med personer med kompetanse om gjeldende emne. Samtidig er det et nyttig supplement til annen type datainnsamling.

Utfordringene innebærer blant annet verifisering. Utvalg, størrelse og fordeling av intervjuobjektene er eksempelvis begrensninger. Det har blitt intervjuet sju byggmestre. Basert på dette utvalget, er det vanskelig å generalisere funnene som har blitt gjort i denne studien. Resultatene vil kun gjenspeile de sju informantenes kunnskap, erfaring og oppfatning. Som resultat av studiens utvalg av informanter, er det svært sannsynlig at ikke alle perspektiver og synspunkter i sektoren avdekkes. Dette fører til at sentrale synspunkter står i fare for å ikke belyses.

Videre kan transkribering by på utfordringer. Transkribering av intervju kan føre til at man blir låst i å få omgjort alt til tekst på en slik måte at helhetsforståelsen, og den opprinnelige meningen, kan bli noe vridd.

3.2 Parameterstudie

Hensikten med parameterstudien var å se på endringen i kantbjelkens muggvekstrisiko som følge av ulike parametervariasjoner. Parameterstudien ble gjennomført ved å gjøre fukttekniske analyser av etasjeskillere med simuleringsprogrammet WUFI 2D. Risikoen for muggvekst ble beregnet i programtillegget WUFI Mould Index VTT. Beregningstilfellene er beskrevet i kapittel 3.2.5.

3.2.1 Oppsett av simuleringer

For å kjøre simuleringene, var det flere forutsetninger som måtte avgjøres i forkant. Dette gjaldt modellens geometri og materialer med tilhørende materialparametere. Deretter

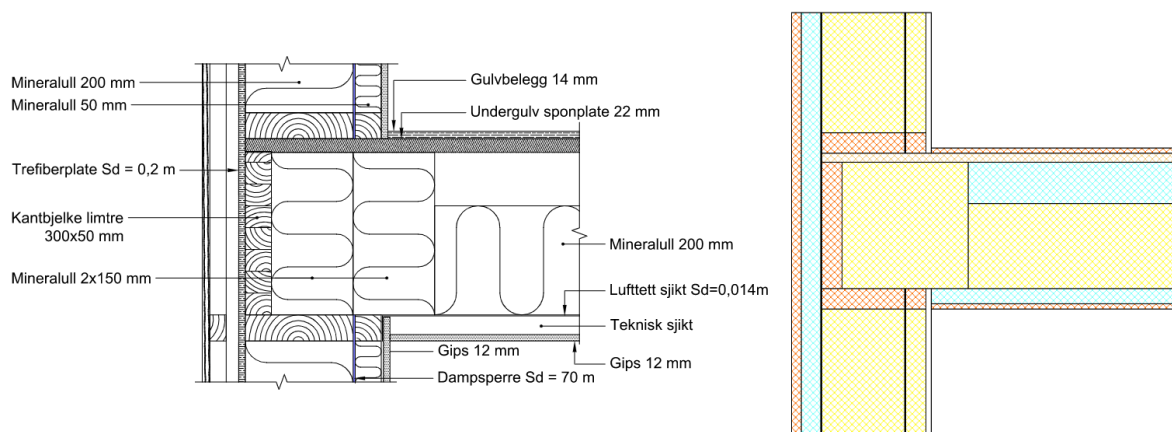
måtte initialverdier som temperatur og fuktinnhold bestemmes før eksterne parametre som inne- og uteklima ble fastsatt. Videre ble luftsirkulasjon og lekkasje i modellen bestemt, før resultatenes ønskede format ble avgjort. Da alt dette var fastlagt, kunne simuleringen igangsettes.

Oppbygning av modellene

To ulike modeller ble bygget med utgangspunkt i to konstruksjoner: konstruksjon A og konstruksjon B. Begge konstruksjonene fulgte en tradisjonell oppbygning med diskontinuerlig dampsperre som beskrevet i kapittel 2.2. Bjelkelaget i modellene var ulikt. Bjelkelagene bestod av heltre og I-bjelker for henholdsvis konstruksjon A og B. Dette ble bestemt med bakgrunn i intervjuene.

Konstruksjon A

Konstruksjon A hadde en tradisjonell oppbygning med bjelkelag av limtrebjelker (K-bjelker). Se figur 3.1. Ytterveggen fulgte prinsippet om totrinnstetting med stående, luftet trekledning og asfaltimpregnerte trefiberplater som vindsperre. Kantbjelken var en limtrebjelke i gran med 300 mm kantisolasjon på innsiden. Bjelkelaget hadde en høyde på 300 mm hvor 200 mm var isolert. Veggene og himlingen var kledd med sparklede og malte 12 mm gipsplater. Et lufttett rullprodukt ble benyttet mellom himling og isolasjonslaget. Dette var for å holde isolasjonen på plass og hindre luftlekkasjer. Gulvet var parkett liggende på 22 mm sponplater. Modellen i WUFI 2D ble utført så lik som mulig som konstruksjonen. Av praktiske hensyn, ble det gjort visse forenklinger. Modellen er presentert til høyre for detaljen.

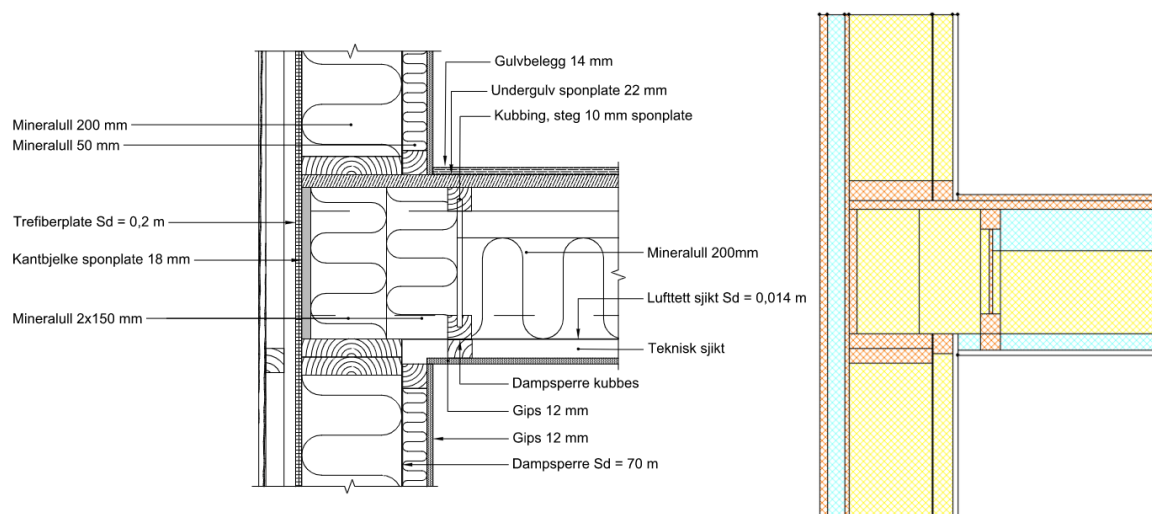


Figur 3.1: Detaljtegning av konstruksjon A til venstre. Modell i WUFI 2D til høyre.

Konstruksjon B

I konstruksjon B, bestod bjelkelaget av I-profiler med steg av sponplater og flenser i gran. Se figur 3.2. Ytterveggen fulgte samme prinsipp som konstruksjon A. Kantbjelken var en 18 mm fuktbestandig sponplate. Kantisolasjonen var den samme som i konstruksjon A. Veggens dampsperre ble kubbet ved enden til kantisolasjonen. Bjelkelagshøyden og

innvendig kledning var lik som i konstruksjon A. Oppbygningen av konstruksjon B i WUFI 2D er presentert til høyre for detaljen.



Figur 3.2: Detaljtegning av konstruksjon B til venstre. Modell i WUFI 2D til høyre.

Materialbestemmelser

Som nevnt i kapittel 2.3 har materialer ulike fukttekniske egenskaper; noe det måtte tas hensyn til i simuleringene. Materialene ble lagt inn i modellen fra WUFI's egen materialdatabase, som er beskrevet i kapittel 2.6. Materialene er gitt i vedlegg C.

I dette tilfellet var vanndampmotstanden i materialene interessant, og da spesielt materialene som ble benyttet i kantbjelken og kubbingen. Materialene er gitt i tabell 3.2. For sperresjiktene var vanndampmotstanden konstant med unntak av en smart dampspærre som ble benyttet i ett av beregningstilfellene.

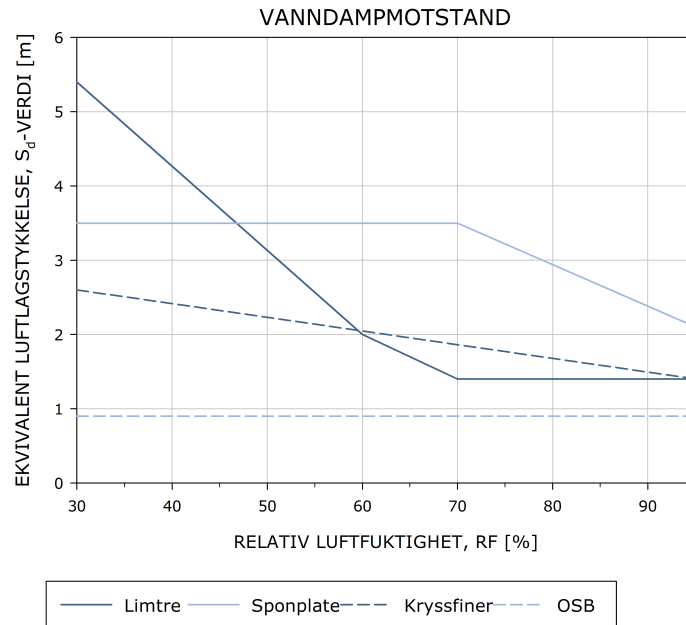
Tabell 3.2: Ulike materialer som ble brukt i kantbjelken for simuleringene.

Material	WUFI 2D	Mould Index VTT	Tykkelse [mm]
Limtre	SSTD II	Untreated pine/spruce	48
Sponplate	Chipboard	Particle board	18
Kryssfinér	Plywood, 600 kg/m ³	Plywood (softwood)	18
OSB	OSB-plate	OSB	18

Trebaserte materialer har en vanndampmotstand som varierer med vanninnholdet. Dette måtte legges til grunn for de trebaserte materialene i modellen. Den variable vanndampmotstanden er oppgitt som S_d -verdi og presentert grafisk i figur 3.3.

Initialverdier

Videre måtte noen initialverdier og parametere legges til grunn. Dette innebar temperatur og fuktinnhold i materialene ved simuleringstart. Temperatur for alle materialene ble satt



Figur 3.3: Vanndampmotstand til materialene benyttet i kantbjelken oppgitt i Sd-verdi.

til 20 °C. Fuktinnholdet i materialene ble satt tilsvarende $RF = 80\%$. For gran er dette vanninnhold tilsvarende 17 vektprosent.

Klimabetingelser ute og inne

Modellen måtte knyttes opp mot randbetingelser som tilsvarte konstruksjonens eksponering for ute- og inn klima. Dette er gjort ved å gi randvilkår til overflatene som timevise data fra en klimafil og som inneforhold utledet fra en klimafil. I tillegg til klimadata, måtte parametere om konstruksjonens orientering og funksjon fastsettes. Disse er presentert i tabell 3.3.

Utvendig klima ble bestemt av lokasjonsbestemte klimafilene fra WUFI's egen database. Filene hadde formatet MDRY som er beskrevet i kapittel 2.6. Utvendig klima som ble undersøkt var: Trondheim, Oslo og Tromsø.

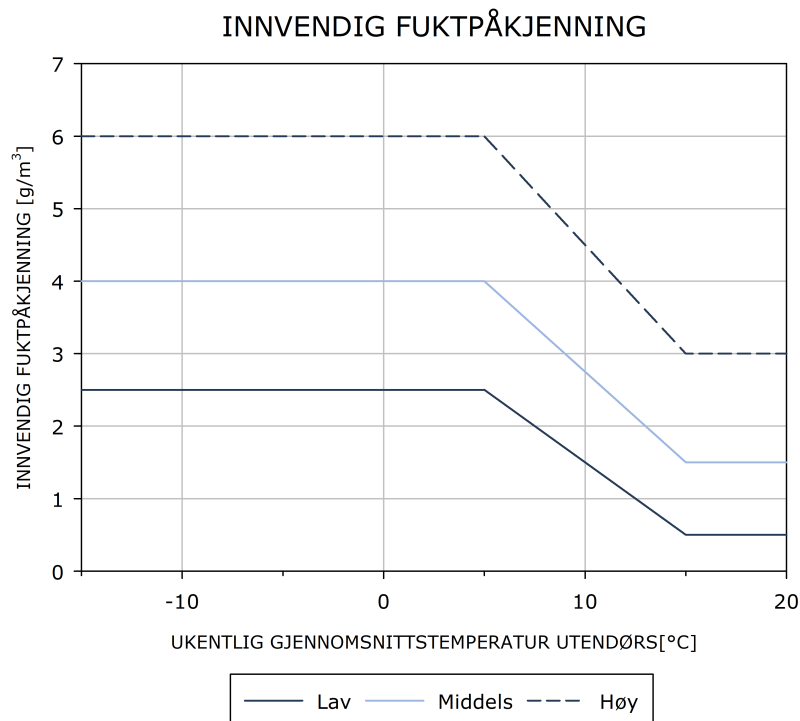
Innvendig klima og dets fuktpåkjenning ble bestemt med utgangspunkt i artikkelen til Geving og Holme (2012). Artikkelen presenterer kurver med fukttilskudd som er avhengig av uteluftens gjennomsnittstemperatur. Se figur 3.4. I simuleringene er det benyttet en middels fuktpåkjenning.

Luftskifte og luftlekkasjer

Ytterveggen luftespalte ble modellert som luftskifte i modellen. Luftskiftet er satt til 50 h^{-1} i alle simuleringene. Plasseringen er markert i blått i figur 3.5.

Tabell 3.3: Parametere knyttet til overflater i WUFI 2D.

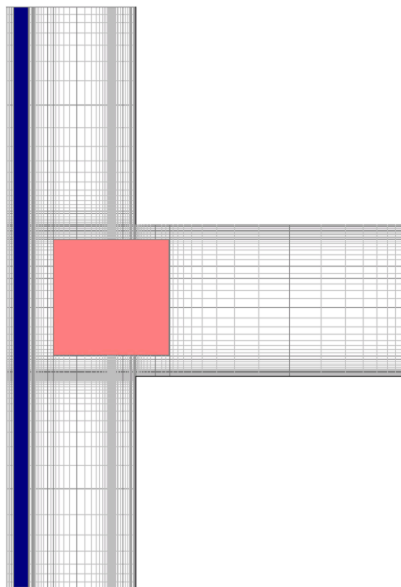
Parameter	Verdi
Veggens orientering	180° (nordvendt)
Veggens helning	90°
Veggens tykkelse	250 mm
Bjelkelagshøyde	300 mm
Varmeovergangstall – utvendig vegg	17 W/m ² K
Varmeovergangstall – innvendig vegg	6 W/m ² K
Varmeovergangstall – innvendig tak	10 W/m ² K
Varmeovergangstall – gulv	8 W/m ² K
S _a -verdi for maling – innvendig vegg	0,2 m
Absorptivitet for kortbølget stråling	0,8 (mørk kledning)
Emissivitet for langbølget stråling	0,9
Andel regn som setter seg på overflaten	0%



Figur 3.4: Innvendig fuktpåkjenning (Geving og Holme, 2012).

I flere simuleringer ble effekten av luftlekkasjer undersøkt. Luftlekkasjer ble lagt inn som luftskifte i modellen. Lekkasjeens plassering og luftskifte per time (h^{-1}) ble bestemt før den ble knyttet til en ønsket overflate hvor luftlekkasjen stammet fra. Den innvendige veggen ble valgt som overflate for å forestille at inneluften trakk ut til kantbjelken. Inneluften inneholder ofte mer fuktighet enn uteluften. Derfor ble dette ansett som konservativt.

Lekkasjen ble plassert i hele kantisolasjonen. Se rosa område i figur 3.5. Dette var for å gi den en direkte innvirkning på kantbjelken. En slik luftlekkasje ville i realiteten funnet sted i hele isolasjonslaget, men det ble antatt at luftskifte andre steder i bjelkelaget ville ha en redusert påvirkning på kantbjelken. Samtidig ville en større simulert luftlekkasje forlenge simuleringstiden. Det var ønskelig å forkorte simuleringstiden mest mulig, da simuleringstiden var relativt lang fra før av.



Figur 3.5: Luftlekkasje i WUFI 2D. Lekkasjeens plassering er markert i rødt. Det blå feltet er luftskiftet bak kledningen.

Størrelsen på luftlekkasjen ble beregnet med utgangspunkt i artikkelen til Relander *et al.* (2011). Denne artikkelen undersøker luftlekkasjen til trebjelkelag med flere ulike parametre gjennom laborietester. De fant at en etasjeskiller med kantisolasjon og diskontinuerlig dampsperrer hadde en lekkasjeverdi lik $8,76 \text{ m}^3/\text{hm}$ på innsiden av konstruksjonen ved en trykkforskjell på 50 Pa.

Lekkasjeverdien måtte regnes om for å kunne benyttes i WUFI 2D. Dette ble gjort ved å se på et volum av kantisolasjonen med en meter dybde. Med dybde på én meter, vil lekkasjen tilsvare $8,76 \text{ m}^3/\text{h}$. Ved å ta utgangspunkt i at mineralull har en porøsitet på 95 prosent (Betongelementforeningen, 2008) gir det følgende luftskifte i kantisolasjonen:

$$\begin{aligned}V_{kantisolasjon} &= 0,3 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^3 \\V_{luft} &= V_{kantisolasjon} \cdot n = 0,09 \text{ m}^3 \cdot 95 \% = 0,0855 \text{ m}^3 \\Luftskifte &= \frac{8,76 \text{ m}^3/\text{h}}{0,0855 \text{ m}^3} = 103 \text{ h}^{-1}\end{aligned}$$

I realiteten vil trykkforskjellen mellom inne og ute variere stort gjennom døgnet. Dette er som følge av temperaturforskjeller, ventilasjon og vindforhold. Det beregnede lekkasjetallet tilsvarer en lekkasje ved konstant trykkforskjell på 50 Pa. Dette er å anse som en stor lekkasje. I undersøkelsene er det ønskelig å se på effekten av en moderat lekkasje. Derfor halveres luftlekkasjen og settes lik 52 h^{-1} .

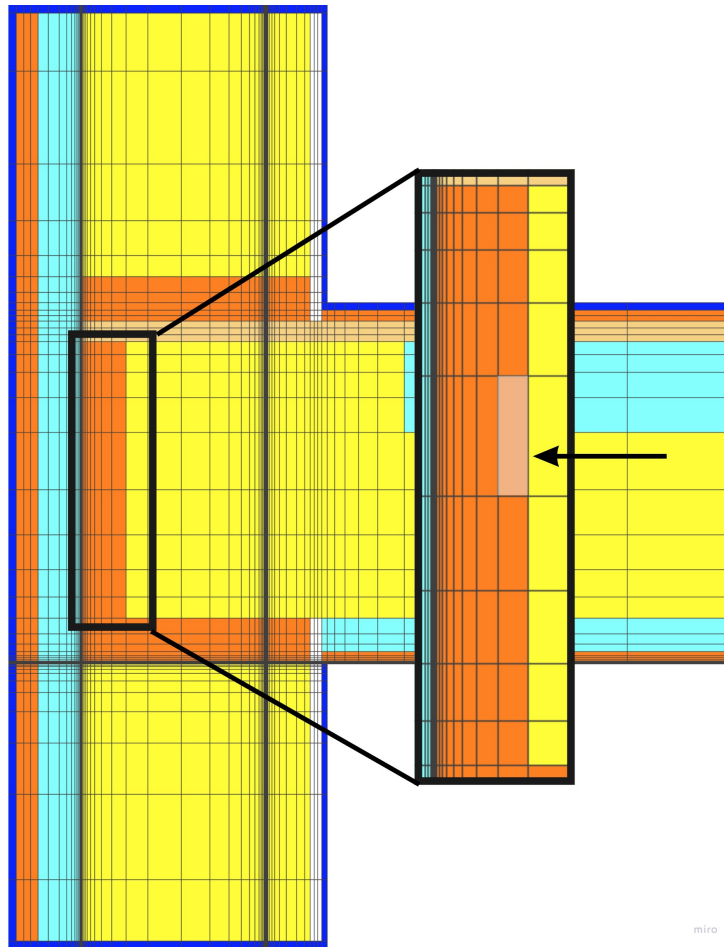
3.2.2 Simuleringens resultater

Modellen i WUFI 2D er bygget opp av noder som hver har sine tilhørende verdier. Se figur 3.6. Etter endt simulering var det disse nodene resultatene ble hentet ut fra. Dette kunne gjøres fra enkeltnoder eller som gjennomsnittsverdier fra flere noder. For å kunne vurdere simuleringenes resultater, var det nødvendig å bestemme hvilke noder resultatene skulle hentes ut fra.

Det var ønskelig å se på hvilke faktorer som la til rette for biologisk aktivitet i kantbjelken. Som nevnt i kapittel 2.4 er tilgangen på fukt og høy nok temperatur de viktigste faktorene som påvirker muggveksten. Noden som resultatene ble hentet ut fra, er basert på Engen (2020) sin fremgangsmåte. Han kom frem til at den midterste noden i kantbjelken oppnår de største fuktpåkjenningene over tre år. Det ble derfor valgt å hente resultater ut fra denne noden. Valgt node er illustrert i figur 3.6. Den midterste noden ble valgt for både konstruksjon A og B.

Resultatene ble brukt til å avgjøre om forholdene i kantbjelken lå til rette for muggvekst. Fra noden ble det hentet ut rådata som ble konvertert til “isoplett”-filer som inneholdt timesverdier for temperatur og RF. Som beskrevet i kapittel 2.4 vil muggvekst kunne oppstå i situasjoner hvor RF er høyere enn 80 % og temperaturen er 5-50 °C. Timene hvor disse forholdene var tilfredsstillt, ble kategorisert som kritiske timer.

Vekstraten for mugg øker ved høyere temperatur og RF. Derfor ble kritiske timer fordelt over gitte RF-verdier, henholdsvis 80, 90 og 95 %. Det ble valgt å se på antall kritiske timer gjennom tre år. Slik var det mulig å få et mer helhetlig bilde av effekten til de ulike parametervariasjonene.



Figur 3.6: Valgt node for uthenting av resultater.

3.2.3 Beregning av muggindeks

Materialtype og eksponeringstiden påvirker muggvekst i tillegg til RF og temperatur. For å ta høyde for dette ble WUFI Mould Index VTT brukt til å beregne muggvekstrisikoen. En beskrivelse av programtillegget er gitt i kapittel 2.6.2. Programmet beregnet muggindeksen ved å kombinere enkelte materialavhengige input-verdier sammen med en “isoplet”-fil.

Input-verdiene varierte avhengig av kantbjelkemateriale. Verdiene som kunne justeres var eksponeringsklasse, sensitivitetsklasse, materialklasse, type overflate og type tresort. Input-verdier kunne velges basert på WUFIs egen materialdatabase, eller justeres ved behov. Benyttede verdier for de ulike materialene er gitt i tabell 3.4.

Kantbjelken er en konstruksjonsdel som ikke eksponeres direkte for inneluften. Likevel er det risiko for at innadrettet lufttransport kan frakte muggsoppспорer til innemiljøet. Eksponeringsklassen ble derfor satt til “Surfaces inside constructions without direct contact to indoor air” for alle materialene. Grunnet denne eksponeringsklassen ble grensen mellom akseptabel og uakseptabel muggindeks satt lik 2. Denne verdien ble brukt i vurdering av resultatene.

Tabell 3.4: Parametervalg i VTT-tillegget.

Materiale	Sensitivitets- klasse	Material- klasse	Type overflate	Type tresort
Limtre	Sensitive	Significant decline	Planed	Hardwood
Sponplate	Very sensitive	Relevant decline	Planed	Softwood
Kryssfiner	Sensitive	Relevant decline	Planed	Softwood
OSB-plate	Sensitive	Almost no decline	Rough	Softwood

3.2.4 Styrker og svakheter

Bruk av simuleringsprogrammer har både positive og negative sider. Det muliggjør komplekse beregninger, samtidig som det involverer noe usikkerhet knyttet opp mot det som beregnes. Usikkerheter inkluderer både menneskelige feil og begrensninger i benyttet programvare.

I WUFI 2D er det flere faktorer som har kunnet påvirke sikkerheten i de endelige resultatene. WUFI 2D tar eksempelvis ikke høyde for konveksjon. Konveksjon i isolasjonssjiktet vil muligens føre til en annen uttørking og fuktoppførsel i realiteten enn det som kommer frem av simuleringene.

Samtidig kan noen av de valgte input-parametere vært feil i forhold til en helt reell situasjon. Dette gjelder blant annet egenskaper til materialparametere som innebærer visse forenklinger for at simuleringsprogrammet skal klare å utføre beregningene. Eksempelvis avviker sorpsjonskurven til mineralull i WUFI 2D litt fra hvordan mineralull oppfører seg i virkeligheten. Denne gir mulighet for kapillærkondensasjon, hvilket ikke er realistisk. Vanddampmotstanden til trematerialene er også svært vanskelig å forutsi, og vanddampmotstanden for ulike platematerialer varierer sterkt avhengig av fuktinnhold.

Videre inneholder simulerte luftlekkasjer en stor grad av usikkerhet. Det er svært vanskelig å forutsi hvor stor en luftlekkasje vil være som følge av utettheter. Spesielt med tanke på variasjonen i trykkforskjeller gjennom året. I simuleringene er det antatt en kontinuerlig luftlekkasje som er lik gjennom hele simuleringsperioden. I realiteten vil dette variere gjennom året og føre til både inn- og utadrettet lufttransport.

Også hvilke parametere som er valgt for VTT-tillegget er åpenbart avgjørende for hvordan muggindeksen utvikler seg i beregningene. Disse parametere kunne vært annerledes, hvilket ville medført andre resultater. Blant annet kunne reduksjonen i muggvekst i perioder med ugunstige forhold for biologisk aktivitet blitt satt til å være mer konservative. Likevel

er det valgt å forholde seg til standardverdiene i programvaren for de ulike materialene da dette er vurdert som hensiktsmessig innenfor oppgavens rammer.

VTT-modellen baserer sine beregninger av muggindeks på klimadata. Beregningene blir følgelig svært sensitive for klimadata som oppgis. Likevel antas fuktforutsetningene å være konservative.

3.2.5 Beregningstilfeller

I parameterstudien er det undersøkt hvordan ulike parameterkombinasjoner påvirker risikoen for muggvekst i kantbjelken. En oversikt over de ulike beregningstilfellene er gitt i tabell 3.5. Det er undersøkt hvilken betydning ulike konstruksjonsløsninger og klima har på risikoen for muggvekst i alle beregningstilfellene. I tillegg er betydningen av luftlekkasjer innenfra undersøkt. Parametervariasjonene er gitt i vedlegg D.

Tabell 3.5: Oversikt over beregningstilfeller.

Parameter	Konstruksjon
Referanse	A, B
Bruk av ulike kantbjelkematerialer	A, B
Mengde byggfukt når konstruksjonen lukkes	A, B
Kantbjelkens plassering	A, B
Mengde bjelkelagsisolasjon	A, B
Bruk av ulike materialer i himling	A, B
Bruk av vertikalt sperresjikt	A
Materiale i kubbing	B
Kubbingens plassering	B

Referanse

Det ble laget en referanse for hver konstruksjon. Her ble fem beregningstilfeller undersøkt i form av variasjon i konstruksjonsløsninger og uteklima. Dette fungerte som sammenligningsgrunnlag for de videre simuleringene.

Referansene var litt forskjellige grunnet ulik oppbygning av konstruksjonene. Konstruksjon A og B er som tidligere nevnt bygget opp av bjelkelag i henholdsvis limtre og I-bjelker. Dette fører blant annet til flere ulike materialparametere. De eksterne parametere, klimapåkjenning innen- og utenfra, er de samme. Faste parametere i referansen er gitt i tabell 3.6.

Tabell 3.6: Eksterne parametere for referansesituasjonene.

Parameter	Konstruksjon A	Konstruksjon B
Innvendig fuktpåkjenning	Medium	Medium
Byggfukt	17 vektprosent	17 vektprosent
Bjelkelagshøyde	300 mm	300 mm
Isolasjon i bjelkelag	200 mm	200 mm
Veggtykkelse	250 mm	250 mm
Kantbjelkemateriale	Limtre, $t = 50$ mm	Sponplate, $t = 18$ mm
Materiale i himling	Gips	Gips
Plassering av kantbjelke	Ytterkant	Ytterkant
Luftskifte bak ytterkledning	50 h^{-1}	50 h^{-1}
Simuleringsstart	1. oktober 2021	1. oktober 2021

Kantbjelkemateriale

Materialet som benyttes i kantbjelken kan variere. Valg av materiale er ofte avhengig av benyttet bjelkelag. Det kom frem av intervjuene at kantbjelken vanligvis vil bestå av det samme materialet som bjelkelaget for å unngå ulik krymping med påfølgende oppsprekking.

I intervjuene ble det fem ulike materialer nevnt: heltre, limtre, sponplate, kryssfiner og OSB. Disse materialene ble undersøkt, unntatt heltre. Heltre har en maksimal tverrsnittshøyde på 223 mm, og denne studien har 300 mm bjelkelag som forutsetning.

Time *et al.* (2008) konkluderer med at limet i massivtreelementer har svært lite å si for dampmotstanden i et materiale. Det ble antatt at S_d -verdien til limet har svært liten effekt på dampmotstanden til treelementet. Dette førte til at heltre ble benyttet som materialparameter i simuleringene av limtre.

Ved bruk av ulike materialer vil både risiko for kondens og muggvekst variere. Materialene vil blant annet ha ulike tykkelser og fuktegenskaper, samtidig som sensitiviteten for muggvekst er ulik. Alle kantbjelkematerialene er trebaserte, og har derfor en varierende dampmotstand avhengig av vanninnholdet. Se figur 3.3.

Byggfukt

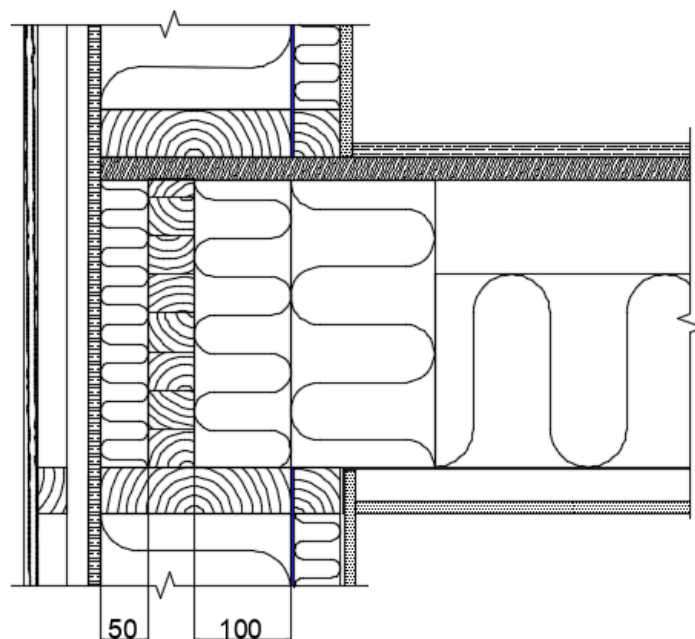
Mengden påvirker naturligvis fuktforholdene i kantbjelken. Tiden det tar for byggfukten å tørke ut, vil bli lengre jo høyere byggfuktnivået er ved bygging. Derfor er det undersøkt hvor stor påvirkning ulike mengder byggfukt vil ha på muggvekstrisikoen.

Tre ulike nivåer av byggfukt ble undersøkt: 17, 20 og 25 vektprosent. Byggfuktnivået ble endret i kantbjelken og materialene bestående av konstruksjonsvirke i de ulike simuleringene.

Kantbjelkens plassering

Kantbjelkens plassering vil kunne ha effekt på fukt- og muggvekstforhold i kantbjelken. Faktorer som temperatur, RF og uttørkingsmuligheter vil kunne variere ved at isolasjonsmengden på inn- og utsiden blir forandret. Ved å flytte kantbjelken innover i konstruksjonen, vil man flytte konstruksjonens duggpunkt. Dette er en konsekvens av at kantbjelken slik er eksponert for høyere temperatur og da er bedre beskyttet mot uteklimaet.

For å undersøke hvilken påvirkning kantbjelkens plassering har på muggvekstrisiko, ble den trukket inn 5 cm mot varm side. Slik var det mulig å oppfylle kravet til oppleggslengde på 73 mm med god margin. På kald side av kantbjelken ble det plassert 5 cm isolasjon. På innsiden ble 25 cm isolert, som resterende av 30 cm kantisolasjon. Se figur 3.7.

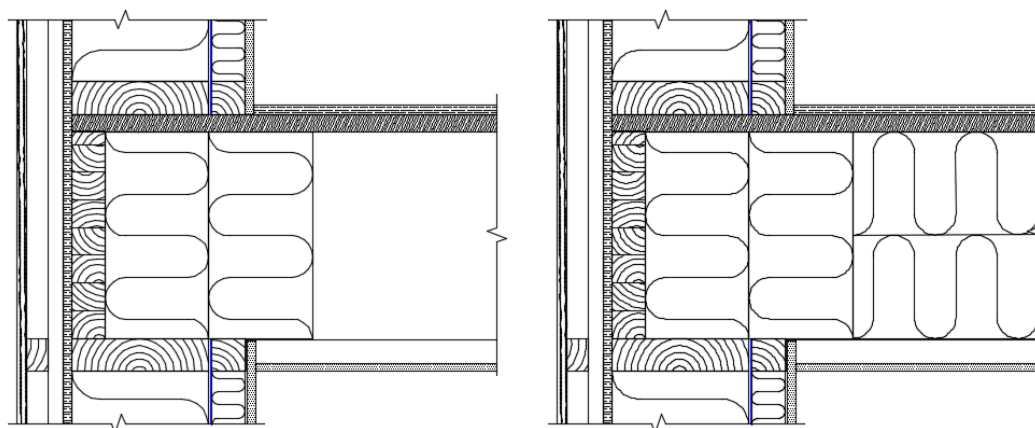


Figur 3.7: Kantbjelke trukket inn 5 cm mot varm side.

Bjelkelagsisolasjon

Mengden bjelkelagsisolasjon kan variere fra utbygger til utbygger. Det stilles ingen formelle krav til isolasjonsmengde mellom oppvarmede rom, slik at det ofte er utbygger som bestemmer hvor mye isolasjon som benyttes.

I simuleringene ble tre ulike isolasjonsmengder med mineralull undersøkt: 0 mm (uisolert), 200 mm (referanse) og 300 mm (fullisolert). Uisolert og fullisolert bjelkelag er illustrert i figur 3.8. I den uisolerte konstruksjonen, ble mellomrommet i bjelkelaget modellert med to lag 150 mm (luftlag without additional moisture capacity) i WUFI 2D. I den fullisolerte konstruksjonen, ble isolasjonen plassert i to lag på 150 mm. Kantisolasjonen ble værende uforandret for å ikke innføre enda en parameterendring i simuleringene.



Figur 3.8: Uisolert og fullisolert bjelkelag.

Materiale i himling

Ulike materialer kan anvendes i himlingen; slik som kledning i form av panel eller platematerialer. Det vanligste er å benytte himlingsplater i gips, men trepanel er også mye brukt. Gips og tre har ulike fukttekniske egenskaper, og kan ha en innvirkning på luft- og fukttransport videre inn i konstruksjonen. Derfor er det undersøkt hvordan himlingsmaterialet påvirker risiko for muggvekst i kantbjelken.

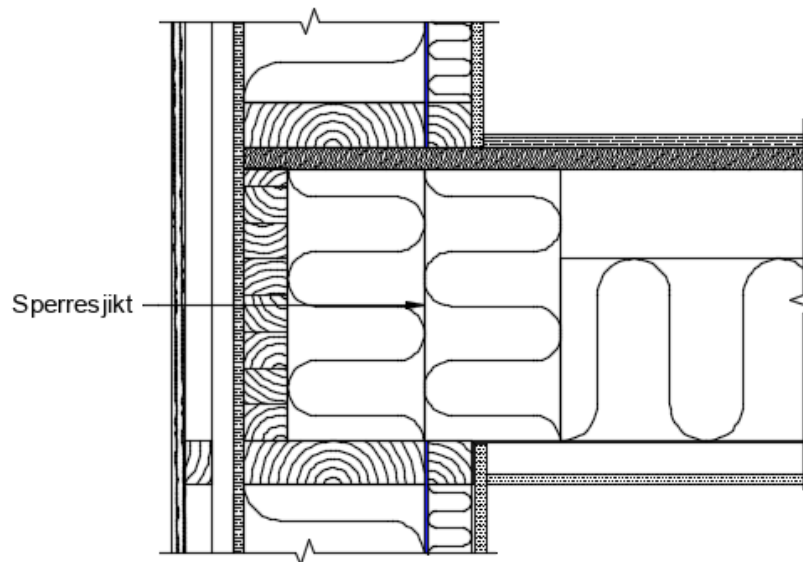
Vertikalt sperresjikt

I dag benyttes sperresjikt i isolasjonen til å forhindre konveksjon i isolasjonslaget. Engen (2020) undersøkte i sin masteroppgave bruk av et vertikalt sperresjikt i kantisolasjonen. Ifølge oppgaven ville bruk av et vertikalt sperresjikt redusere antall kritiske timer i kantbjelken. Dette ville sørge for en redusert muggvekstrisiko over tid.

For å få et større perspektiv på sperresjiktets påvirkning, er det undersøkt situasjoner med ulike S_d -verdier. I utgangspunktet anbefales det å ikke bruke et materialer med for høy damp tetthet, da det er høy risiko for å sperre byggfukt inne. Det er likevel gjennomført simuleringer med høy S_d -verdi i det vertikale sperresjiktet for å skaffe resultater som kan bekrefte denne risikoen.

Det vertikale sperresjiktet er plassert i midten av kantisolasjonen. Se figur 3.9. Dette er gjort for at det skal være mer praktisk å sørge for en så tett detalj som mulig, uten utfordringer med tetting på undersiden av isolasjonen. Kantisolasjonen vil ligge forbi veggens utforing, og vil gjøre det utfordrende å få konstruksjonen tilstrekkelig tett ved bruk av sperresjikt helt inne mot varm side.

Det er verdt å merke seg at ved å benytte plasseringen i figur 3.9 risikerer man kondens ved sperresjiktet. Ved bruk av dampsperre anbefales det å ha maksimalt 1/4 av isolasjonen på dampsperras innside (SINTEF Community, 2020). I dette tilfelle vil halvparten ligge på innsiden, og det er derfor nødvendig å vurdere kondensrisikoen på sperresjiktets innside. Kondensrisiko er undersøkt på begge sider av sperresjiktet.



Figur 3.9: Plassering for vertikalt sperresjikt.

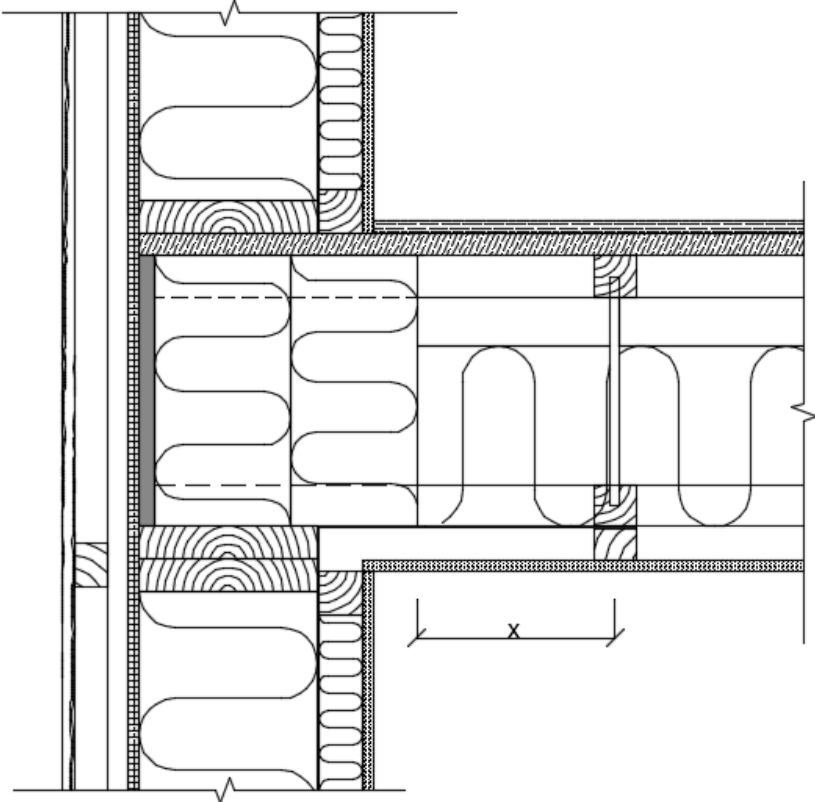
Materiale i kubbing

Som beskrevet i kapittel 2.2 kan steget i I-profiler bestå av ulike materialer. Simuleringene er gjennomført med sponplate og kryssfiner som materialer i kubbingen. Valget er basert på hvilke materialer som ofte benyttes som steg i I-bjelker. Kun konstruksjon B er undersøkt for ulike kubbingmaterialer. Dette er fordi konstruksjonen er bygget med en kubbing i utgangspunktet.

Kubbingens plassering

Kubbingens plassering kan variere, og det er opp til utbygger eller prosjekterende å avgjøre hvor tett opp mot veggen den bør legges.

Simuleringene er gjennomført med tre ulike plasseringer for kubbingen: 0, 0,5 og 1 meter trukket inn fra kantisolasjonen. Se figur 3.10. Bjelkelagsisolasjonen har samme tykkelse på begge sidene av kubbingen. Dampsperran trekkes ytterligere ut og kubbes avhengig av plasseringen. Kun konstruksjon B er undersøkt i disse beregningstilfellene. Dette er fordi konstruksjonen er bygget med en kubbing i utgangspunktet.



Figur 3.10: Illustrasjon av kubbingens plassering.

Kapittel 4

Resultater og vurderinger

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan en etasjeskiller kan utføres så fuktsikker som mulig i overgang til yttervegg mellom oppvarmede rom, med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken. Løsningene som brukes i dag er tilsynelatende ikke gode nok med tanke på vandampdiffusjon og luftlekkasjer. Tre forskningsspørsmål ble formulert for å undersøke dette:

1. Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?
2. Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?
3. Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

I dette kapitlet presenteres resultater fra sju intervjuer og 135 datasimuleringer fra en parameterstudie. Først vil funnene i intervjuene belyses, før beregningstilfellene og resultatene fra parameterstudien blir gjennomgått.

4.1 Intervju

Det ble gjennomført 7 semistrukturerte dybdeintervjuer som danner grunnlag for funnene. Fokusgruppen har vært personer med minst fem års erfaring, og som er lokalisert forskjellige steder i landet. Kriteriene ble valgt for å sikre samtale med personer som hadde god kompetanse, samtidig som de hadde erfaring med prosjekter som var berørt av ulikt uteklime.

Formålet med intervjuene var å kartlegge bransjens kunnskap og erfaring knyttet til fuktproblematikk i kantbjelken. I tillegg var det interessant å kartlegge ulike byggeteknikker, og alt dette ble brukt som grunnlag for parameterstudien. Fire større funn ble avdekket gjennom intervjuene:

1. Byggemetoder varierer mellom ulike boligbyggere.
2. Det eksisterer ulike erfaringer knyttet til fukt i kantbjelken.
3. Fuktproblemer i kantbjelken kan være vanskelig å avdekke.
4. Overgangen mellom etasjeskiller og yttervegg er vanskelig å få tilstrekkelig tett.

4.1.1 Funn 1: Varierte byggemåter

Informantene hadde litt ulike måter å bygge på, som blant annet knyttet seg til ulike materialvalg og byggdetaljer. Også utførelsen varierte mellom informantene. De ulike materialvalgene er gitt i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Ulike materialer som ble brukt for de ulike konstruksjonsdelene.

Konstruksjonsdel	Materiale
Bjelkelag	Heltre
	Limtre
	I-profiler
Kantbjelke	Heltre
	Limtre
	Sponplate
	Kryssfiner
	OSB-plate
Dampsperre	Plastfolie, $S_d = 70$ m
Vindsperre	GU-gips, $S_d = 0,078$ m
	Trefiberplate, $S_d = 0,2$ m
	Rullprodukt, $S_d = 0,014$ m
Isolasjonstykkelse bjelkelag	200mm
	Full isolasjonstykkelse
Himling	Gips
	Panel

Informantene benyttet tre typer bjelkelag; heltre, limtre og I-bjelker. Noen valgte å bruke kun én type bjelkelag, mens andre varierte basert på prosjekt. Valg av bjelkelag hadde påvirkning på kantbjelkens materialvalg. I tilfellene hvor I-bjelker ble benyttet, bestod

kantbjelken ofte av det samme materiale som I-bjelkens steg. Dette førte til at både sponplate og kryssfinerplate ofte ble brukt. I tilfellene ved bruk av limtre eller heltre, bestod kantbjelken av det samme materialet. OSB-plate ble også benyttet som kantbjelke hos en av informantene.

Bruk av vindsperre varierte blant informantene. Noen foretrakk GU-X; et plateprodukt i gips som brukes til vindtetning og -avstivning. Andre holdt seg til tradisjonelle rullprodukter eller trefiberplater. Begrunnelsene for valgene varierte. Krav til brannmotstand og enkel montering ble brukt som argument for GU-X. Et argument for valg trefiberplater var at platen hadde evne til å ta opp og avgi fuktighet, mens GU-gipsen ville føre til kondens og konsentrerte ansamlinger av vann.

Til tross for ulikhetene i materialvalg, var samtlige informanter enige om krav til byggfukt. 17 prosent i vektprosent viste seg å være kravet til alle som ble intervjuet. Dette ble begrunnet med å være på den sikre siden av kravet i TEK17 (2017) som er på 20 vektprosent.

Dampsperrers utførelse varierte også blant de ulike intervjudeltakerne. Noen av informantene brukte kun heltrukket dampsperre, mens noen brukte det i kun enkelte tilfeller. Andre benyttet bare diskontinuerlig dampsperre.

Valg av heltrukket dampsperre ble begrunnet med gode lekkasjetall, og lave kuldebroverdier. Fuktteknisk mente de også at dette var en god løsning fordi det hindrer fukt i å trenge ut til kantbjelken. En av informantene uttrykte likevel bekymring for denne måten å bygge på. Begrunnelsen var at for å ha en heltrukket dampsperre, måtte det tekniske sjiktet i så fall måtte trekkes nok ut slik at bjelkelaget fikk tilstrekkelig oppleggslengde. Dermed måtte kreftene fra overetasjen fordeles over utforingen for det tekniske sjiktet, og dette resulterte i økt risiko for oppsprekking i innvendig kledning. En slik oppsprekking hadde informanten erfart flere ganger.

Enkelte av informantene bygget alle veggelementer innendørs før de ble fraktet til byggeplass. På denne måten unngikk man oppfukning av byggematerialene ved å ha de i et miljø med oversikt over luftfuktigheten. Tiden materialene sto udekket på byggeplass ble minimert, og kravet til byggfukt ble oppnådd før. Dette muliggjorde tidligere isolering og montering av dampsperre.

4.1.2 Funn 2: Spredt med erfaringer

Informantene hadde ulike erfaringer knyttet til fuktrelaterte problemer i kantbjelken. Fire av de sju som ble intervjuet hadde verken opplevd problemer, eller hørt om situasjoner hvor det var et problem. De resterende kunne informere om tilfeller hvor det oppsto kondens på kantbjelkens innside, og i disse tilfellene ble problemet avdekket i byggeperioden. Tabell 4.2 gir en oversikt over de ulike erfaringene.

Tabell 4.2: Informantenes erfaringer rundt fuktproblemer i kantbjelken.

Lokasjon	Opplevd fuktproblemer	Tidspunkt
Tromsø	Ja	Byggeperioden
Indre Trøndelag	Nei	—
Indre Trøndelag	Nei	—
Haugesund	Ja	Byggeperioden
Sandefjord	Ja	Byggeperioden
Bergen	Nei	—
Oslo	Nei	—

Det var i byggeperioden det ble gjort funn av fukt på kantbjelkens innside. Dette gjaldt for alle tilfeller hvor dette var avdekket. I flere av tilfellene oppdaget de rim og kondens før bygget ble varmet opp og avfukting igangsatt. “*Det vi ofte ser er at kondenseringen ofte skjer i byggeperioden når du begynner å fyre i bygget og før du får fuktbremser komplett.*” Etter avfuktingen hadde kondensen tilsynelatende forsvunnet, og bygget hadde vært klart for isolering og montering av dampsperre.

En av informantene hadde observert problemer i to store eneboliger etter isolering. Her var det mistanke om at byggdetaljen de brukte ikke var optimal. I byggeperioden på den ene eneboligen ble de skeptiske og bestemte seg for å sjekke. “*... vi var skeptiske, vi fant ut at det her kan ikke henge sammen. Dermed plukket vi vekk isolasjonen og fant feilene.*” Detaljen ble ikke lenger brukt etter disse observasjonene. De begynte å bruke en kantbjelke som var trukket inn 5 cm, hvilket viste seg å ha positiv effekt.

I tilfellene hvor det ble avdekket fukt, hadde luft kondensert på kantbjelkens innside i byggeperioden. Dette skjedde etter at huset ble varmet opp, og før den mekaniske avfuktingen ble igangsatt. I alle tilfeller oppsto det kondens på kantbjelkens innside under bygging før uttørking av bygget startet.

En av informantene som var lokalisert på Østlandet hadde problemer i andre enden av skalaen. Vedkommende hadde mottatt flere reklamasjoner på et altfor tørt inn klima.

“... vi har egentlig et motsatt problem enn fukt. Problemet gjelder bruksfasen. Det er jo at det blir for tørt, spesielt på den kalde årstiden. På de kaldeste dagene med balansert ventilasjon, kan det være under 20 % RF hvis man ikke gjør noen tiltak.”

Disse erfaringene bygget videre opp til et argument i helt motsatt retning av fuktproblemer. Argumentet tilsa at ved et så lavt RF-nivå ville det ikke være noen problemer

ute ved kantbjelken. Den tørre innelufta ville trekke til seg alt som var av fukt innover i konstruksjonen gjennom den perioden RF-nivået var såpass lavt.

“... hvis den relative luftfuktigheten i de fleste rommene i huset er på 20%, så tenker jeg at da vil jo den varme lufta suge til seg alt som er av fuktighet i alle bygningsdeler. Og tilbake til den kantbjelken der da, som ikke er beskyttet av et dampnett sjikt fra innsiden, kun med sparklede og malte gipsplater. Så vil jeg tro at i løpet av disse kanskje 2-3 månedene i løpet av vinteren, tror du ikke huset gjør jobben da?”

4.1.3 Funn 3: Vanskelig å avdekke fuktproblemer i kantbjelken

Selv om det hersket uenighet rundt hvor reelt fuktproblemet i kantbjelken var, mente samtlige intervjuobjekter at problemene kunne være vanskelige å avdekke. Spesielt etter at bygget sto ferdig fordi kantbjelken er en konstruksjon som sjelden blir sjekket, og begrunnes av at dette er utfordrende.

“Det er jo det som er litt utfordring her da, med en sånn problemstilling, at vi må nesten fysisk rive ned igjen for å sjekke hvordan det egentlig ser ut.”

Det er også en konstruksjon som beboerne ikke er eksponert for. Den avdekkes sjelden i forbindelse med oppussing eller renovasjonsprosjekter. Det er kun ved omklledning av yttervegg og lignende hvor man åpner opp konstruksjonen på en slik måte at eventuelle problemer kan avdekkes. En informant sier at dette kan være en av grunnene til at de ikke har mottatt reklamasjoner som følge av dette.

“Vi har ikke hatt noen reklamasjoner på akkurat dette temaet. Det er jo ikke sikkert at mange av disse kantbjelkene har blitt blottlagt heller. Etter at husene er tatt i bruk.”

4.1.4 Funn 4: Etasjeskiller mot yttervegg er en detalj som er vanskelig å få tilstrekkelig tett

Flere av informantene påpekte vanskeligheter med å få overgangen mellom etasjeskiller og yttervegg tett nok. Tettheten var avhengig av to ting: prosjektering og utførelse. Dersom en av disse ikke ble gjort riktig, var risikoen for luftlekkasjer stor. Spesielt utførelsen viser seg å være utfordrende. Prosessen rundt tetting av overganger er både dyr, tidkrevende og vanskelig. Årsaken er at overgangen krever svært mange klemte flater for at det skal bli tilstrekkelig tett.

“Det er mye arbeid, det er en dyr prosess, og det er ikke alltid den blir utført godt nok. For du skal ha enormt mange klemte flater du skal ha den tett på.”

En annen informant påpeker forskjellen mellom teori og praksis. I teorien forutsettes en tett overgang i byggdetaljer der det benyttes plast. Slik henger det ikke sammen i praksis, da informanten mener du ikke får overgangene tette nok.

“Det øyeblikket du skal begynne å bygge tette hus, så får du et sett av andre problemer som, hvis du da ikke ser helheten i det, så går du i baret ... Altså den måten du bruker plast på i dag, den er råskummel ... den er ikke tett. Du klarer ikke lage overganger som er så tette som i teorien.”

4.2 Parameterstudie

4.2.1 Referanse

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.2. Resultatene er gitt i figur 4.1 – 4.4 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

Risikoen for muggvekst varierer i de ulike beregningstilfellene, men ingen tilfeller når en muggindeks under akseptabelt nivå på 2. Se figur 4.1. Oslo oppnår laveste maksimale muggindeks tredje året med 3,2. Her er resultatet også lavest antall kritiske timer. Resterende oppnår ca. like høy muggindeks: 4,6-4,8 og har merkbart flere kritiske timer.

Muggvekstrisikoen ser ut til å ha sammenheng med kritiske timer, og spesielt kritiske timer med $RF \geq 95\%$. Diagrammet i figur 4.1 viser en sammenheng mellom lange, lyse søyler og høy muggindeks. For eksempel har Tromsø færre kritiske timer enn standardtilfellet totalt, men oppnår samme muggindeks. De lyse søylene er forholdsvis like, og kan trolig være en forklaring på høyere muggindeks.

Det kommer frem av figur 4.3 en rask økning i muggindeks innledningsvis for alle tilfellene unntatt Tromsø. Årsaken er sannsynligvis høyere RF i konstruksjonen første året, som vist i samme figur. Figuren illustrerer at fuktinnholdet er noe høyere første året, enn påfølgende år. Dette er trolig grunnet byggfukt som ikke har tørket ut før vinteren. En lavere temperatur gjennom vinterhalvåret er trolig årsaken til en senere oppblomstring av muggvekst i Tromsø. Selv med en høy RF vil ikke vekstbetingelsene som er presentert i kapittel 2.4 være tilfredsstillt.

Ved simulert luftlekkasje, vil ikke muggindeksen nå like høyt nivå som i standardtilfellet. Dette skjer til tross for flere kritiske timer. Årsaken er trolig at luftlekkasjen i simuleringen virker gjennom hele året, og vil føre til at RF synker tidligere på sommeren. Slik gir det kantbjelken mulighet til å tørke fortere ut og redusere RF slik at muggindeksen synker betraktelig frem til fuktpåkjenningen igjen blir høy innenfra.

Oslo er eneste tilfellet med nedadgående trend i muggindeksen. Dette er trolig grunnet kortere perioder med høy RF som følge av et tørrere og varmere klima. De resterende beregningstilfellene ser ut til å holde seg på samme nivået.

Konstruksjon B

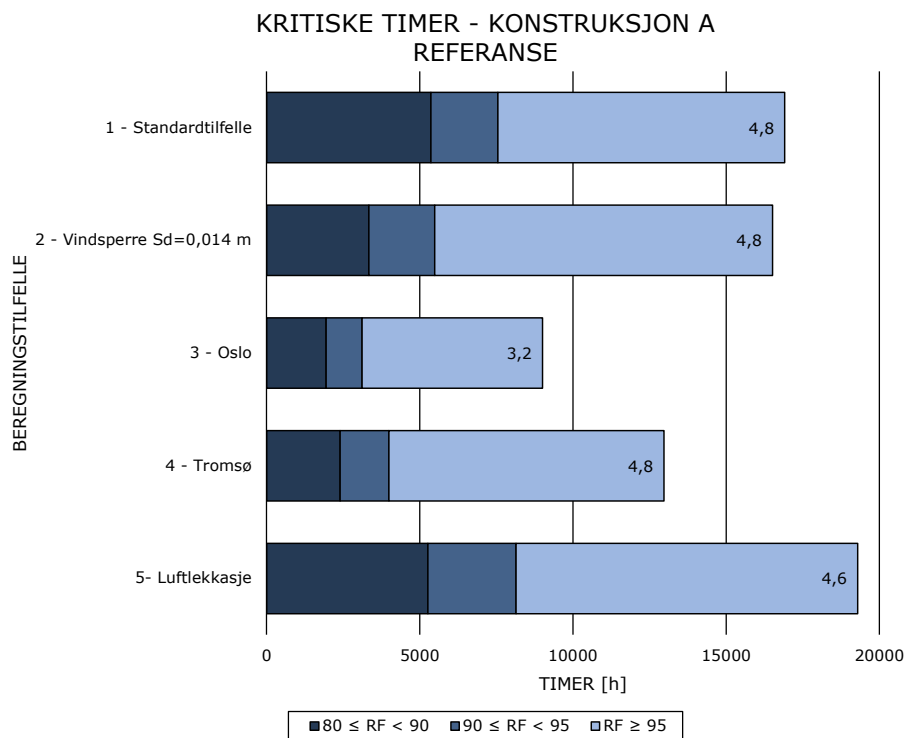
Risikoen for muggvekst viser de samme tendensene i konstruksjon B som i konstruksjon A. Ingen tilfeller resulterer i en maksimal muggindeks under akseptabelt nivå, hvorav Oslo har lavest med 3,0. Se figur 4.2. Med unntak av Oslo, ligger maksimal muggindeks noe høyere for konstruksjon B.

Den høye muggindeksen skjer til tross for at konstruksjon B oppnår færre kritiske timer enn konstruksjon A. Dette kommer trolig av at konstruksjonen oppnår en svært høy muggindeks det første året, tett opp mot 6 i samtlige tilfeller. Se figur 4.4. Deretter viser den en synkende trend for alle tilfellene unntatt ved simulert luftlekkasje.

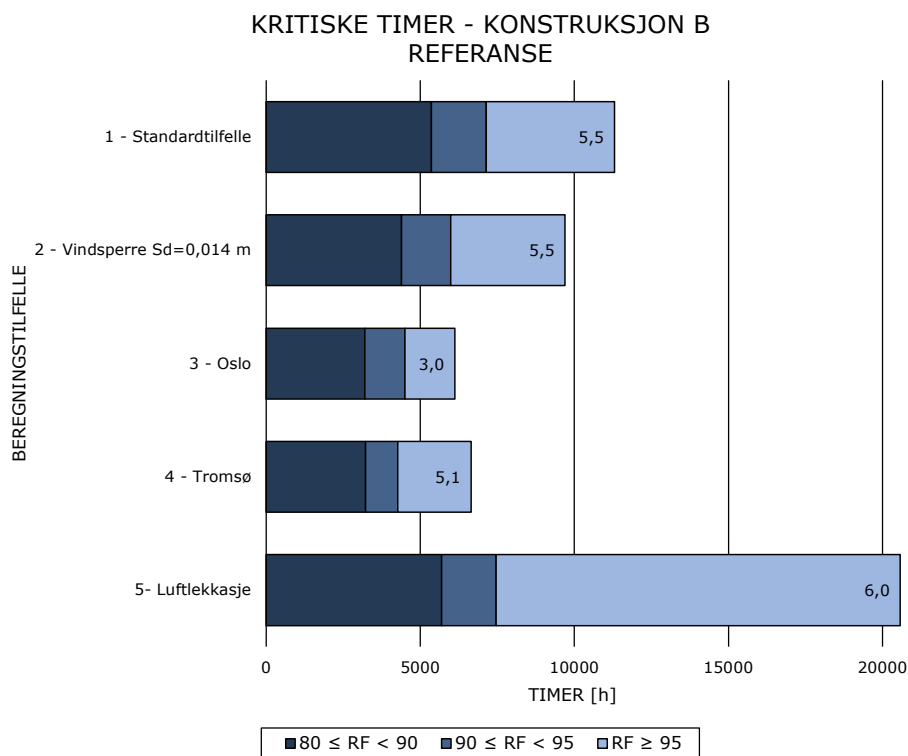
Figur 4.4 viser at muggindeksen øker svært raskt det første året og oppnår et maksimalt nivå tett opp mot 6. Deretter følger alle tilfellene en synkende trend i de påfølgende årene. Årsaken til den svært høye indeksen det første året er trolig forårsaket av kubbingen. Kubbingens dampmotstand resulterer i at byggfukten bruker lenger tid på å tørke ut, da den ikke har anledning til å tørke innover på samme måte som konstruksjon A. Dette medfølger at RF stiger tett opp mot 100 % gjennom vinteren. Når da temperaturen stiger, vil forholdene ligge godt til rette for muggvekst med god tilgang til fukt ved høyere temperaturer.

Den synkende trenden kan forklares av mindre fukttilførsel fra innelufta gjennom vinteren. Etter at byggfukten har tørket ut, vil sannsynligvis dette resultere i en lavere fuktighet ute ved kantbjelken. Dermed vil forholdene ligge dårligere til rette for biologisk aktivitet.

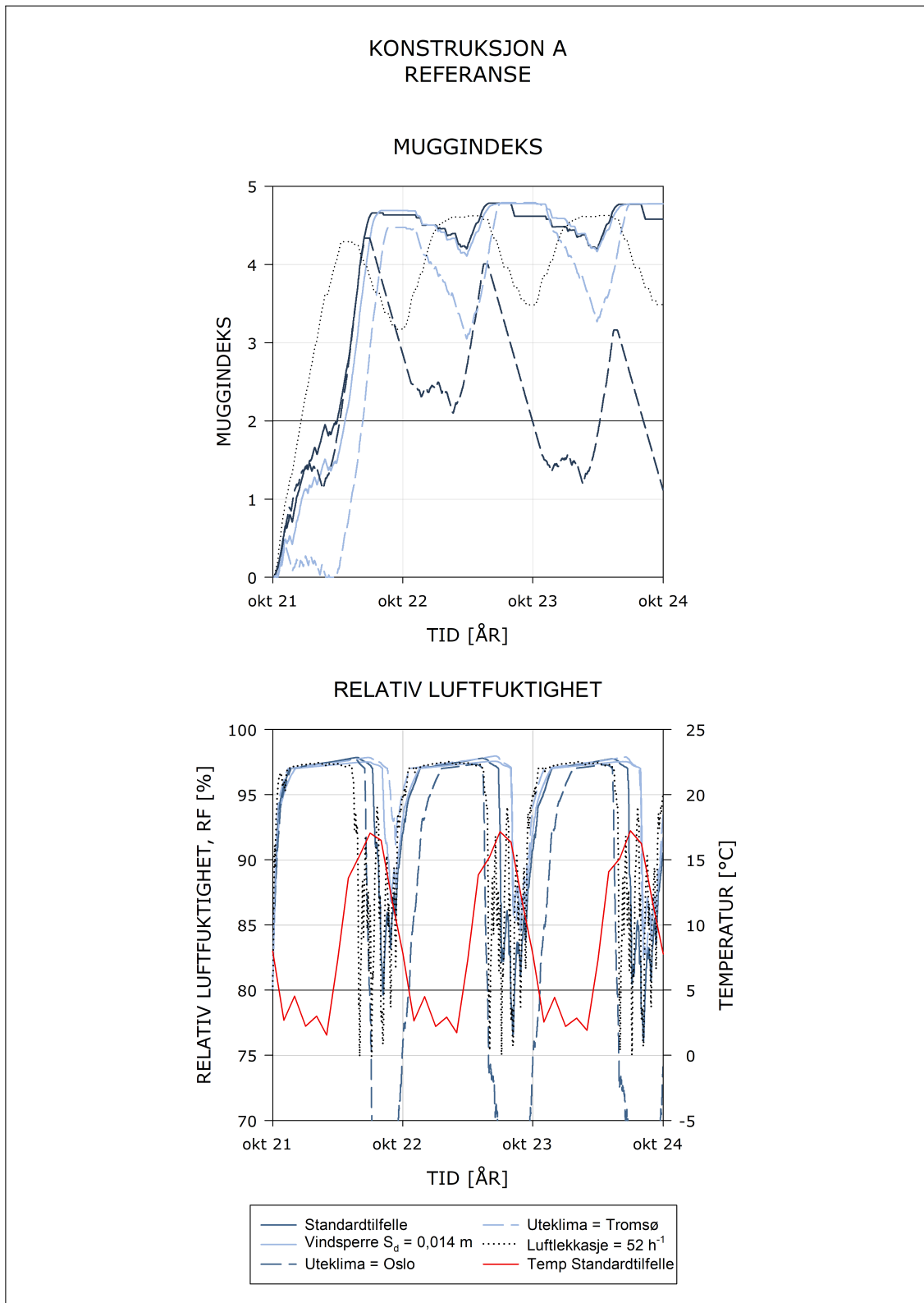
Ved simulert luftlekkasje, kan det virke som luftlekkasjen opprettholder fuktnivået forårsaket av byggfukten. Byggfukten får her aldri tid til å tørke i særlig stor grad mot innelufta. Slik vil det opprettholdes gode vekstbetingelser for sopp.



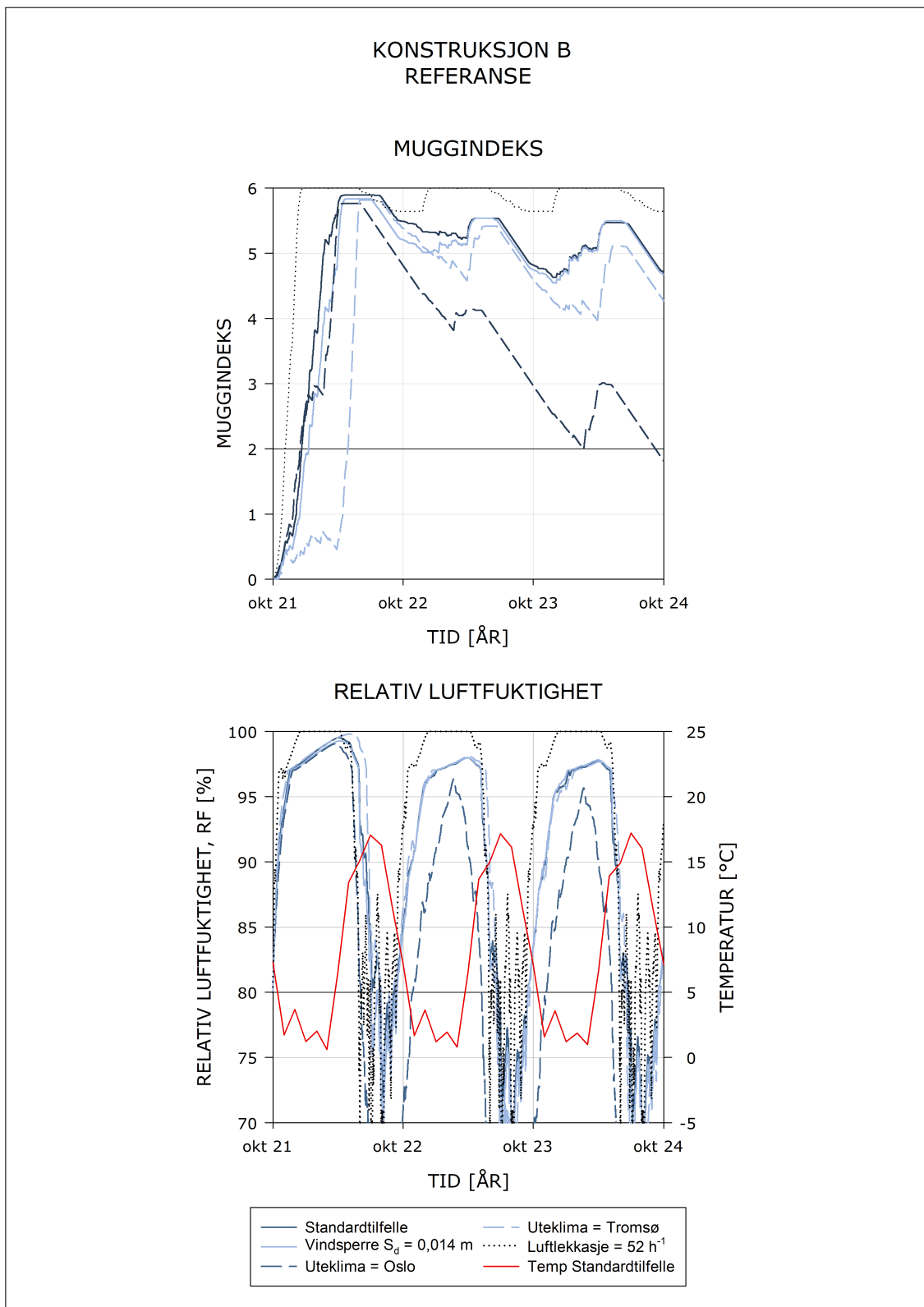
Figur 4.1: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene i referansen for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det tredje året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.2: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene i referansen for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det tredje året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.3: Utvikling i muggindeks og RF for konstruksjon A. Akseptabel muggindeks er markert med en svart referanselinje. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.



Figur 4.4: Utvikling i muggindeks og RF for konstruksjon B. Akseptabel muggindeks er markert med en svart referanselinje. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.2 Materiale i kantbjelken

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.2 og D.3. Resultatene er gitt i figur 4.5 – 4.10 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

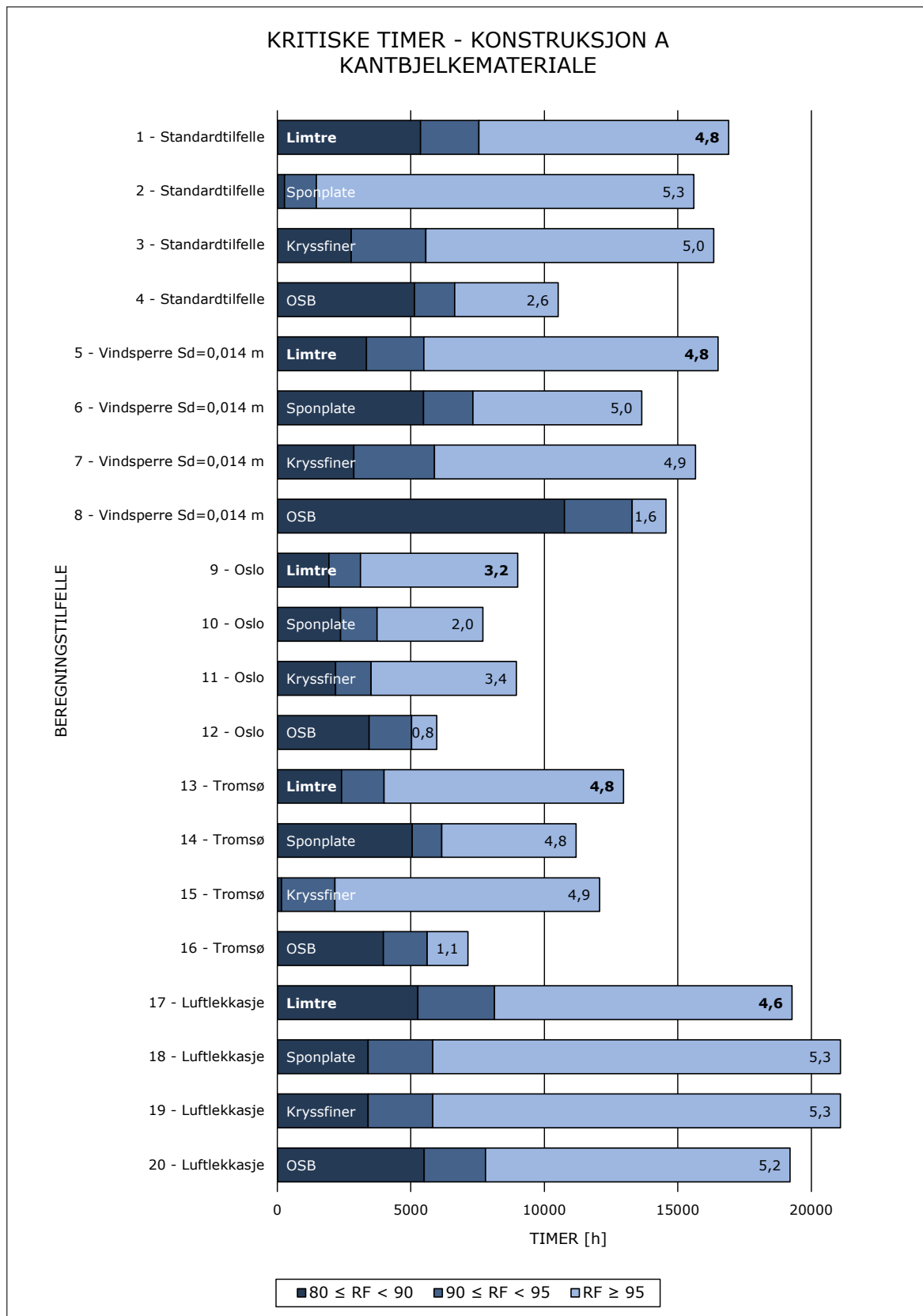
Muggvekstrisikoen varierer mellom de ulike kantbjelkematerialene. Se figur 4.5. OSB gir laveste maksimale muggindeks tredje året i alle tilfeller under akseptabel grense, unntatt ved luftlekkasje. Sponplate og kryssfiner har høyest muggvekstrisiko i alle beregningstilfellene med muggindekser liggende rundt 5 som maksimalverdi det tredje året. Limtre som materiale i kantbjelken gir lavest muggindeks ved simulert luftlekkasje, men ikke under akseptabel grense på 3.

Muggindeksen for de ulike materialene følger samme trend, men med noe variasjon i verdiene. Se figur 4.6. Den ser ut til å holde seg høy for alle materialene unntatt for OSB som ligger betraktelig lavere enn resterende materialer. Sponplaten ser også ut til å synke ned under akseptabel grense i Oslo. Grunnen er trolig kortere perioder med høy RF enn de andre.

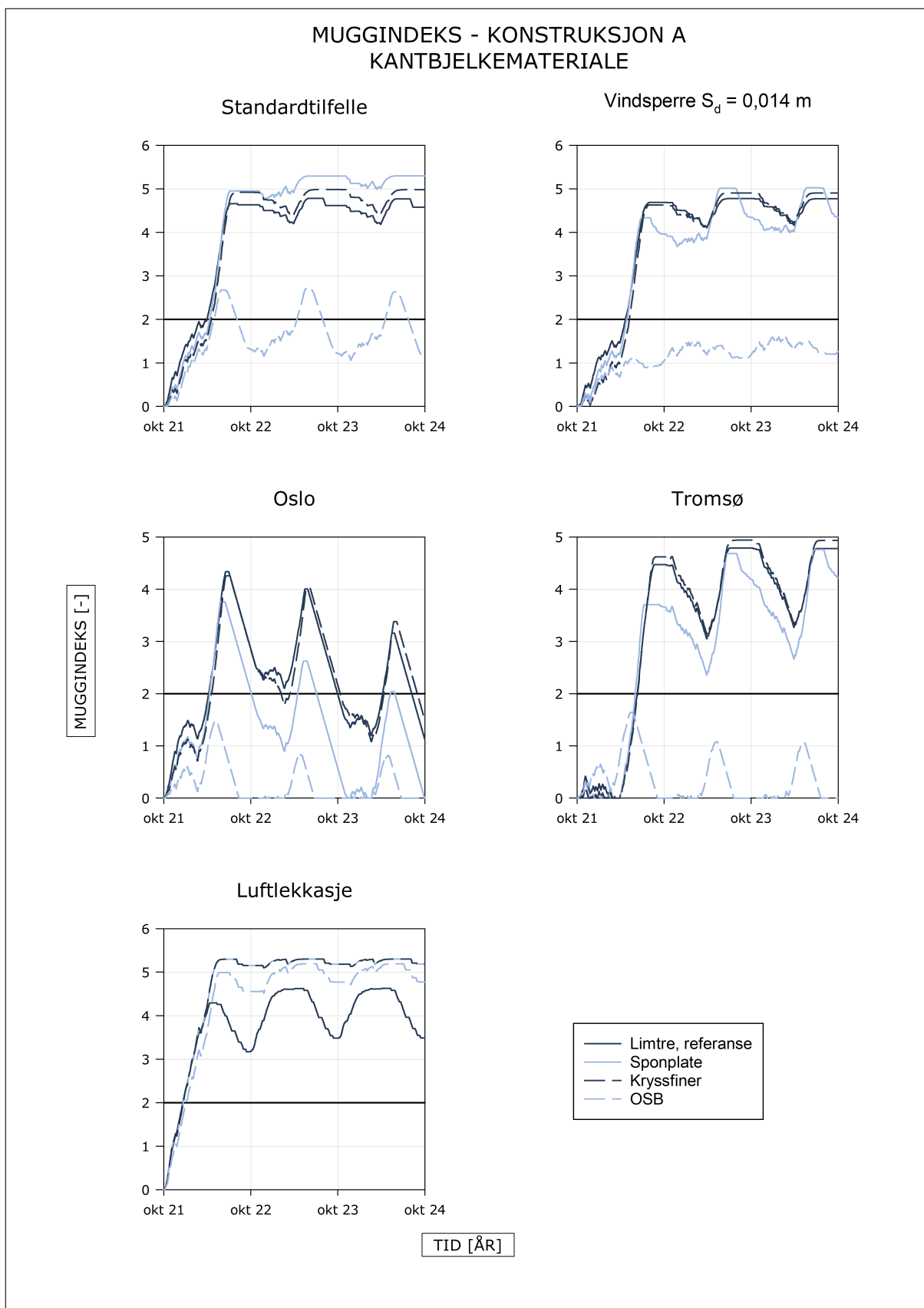
Det er samtidig viktig å merke seg at kantbjelkematerialet avgjør modelleringen av muggindeks i VTT-tillegget. Dette er sannsynligvis grunnen til at sponplaten oppnår en høyere muggindeks enn kryssfiner. Kryssfiner flere kritiske timer, men en lavere muggindeks.

RF varierer mellom de ulike kantbjelkematerialene. Se figur 4.7. Kantbjelke med OSB ser ut til å tørke ut tidligere enn resterende materialer, samtidig som oppfuktingen oppstår senere. Dette indikerer hvorfor OSB oppnår et lavt antall kritiske timer og følgelig lav muggindeks.

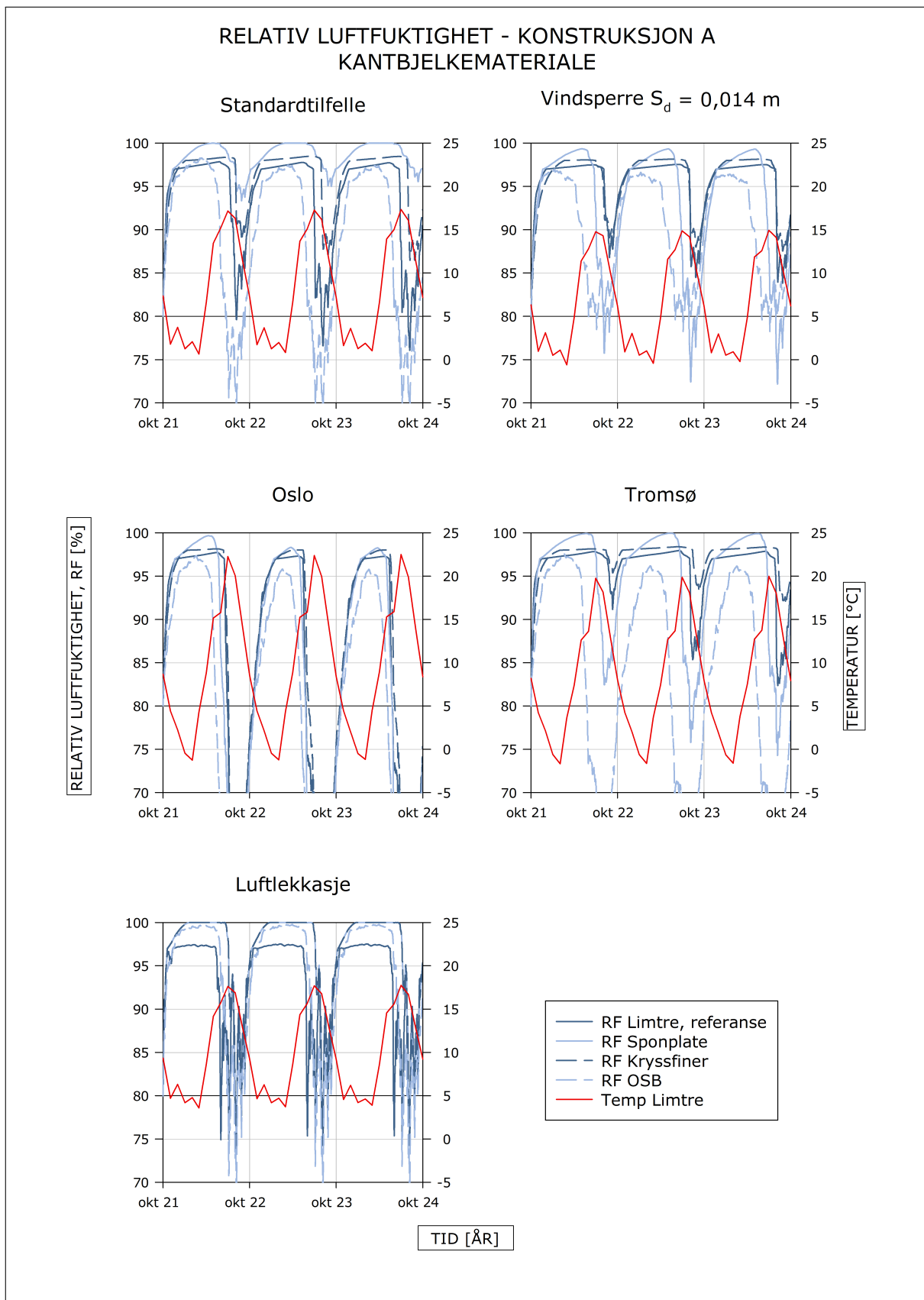
Årsaken til de ulike resultatene er trolig kantbjelkenes vanndampmotstand og sensitivitet for muggvekst. OSB som den mest dampåpne kantbjelken, gir lavest antall kritiske timer, og derav også lavest muggindeks. Ved å være mer dampåpen, vil kantbjelken slippe gjennom mer fukt om vinteren, og holde RF lavere ved temperaturer som er gunstige for muggvekst. Dermed vil ikke forholdene ligge til rette for muggvekst, som forklart i kapittel 3.2.3.



Figur 4.5: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i kantbjelkematerialet for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.6: Utvikling i muggindeks for ulike kantbjelkematerialer i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.7: Utvikling i RF for ulike kantbjelkematerialer i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

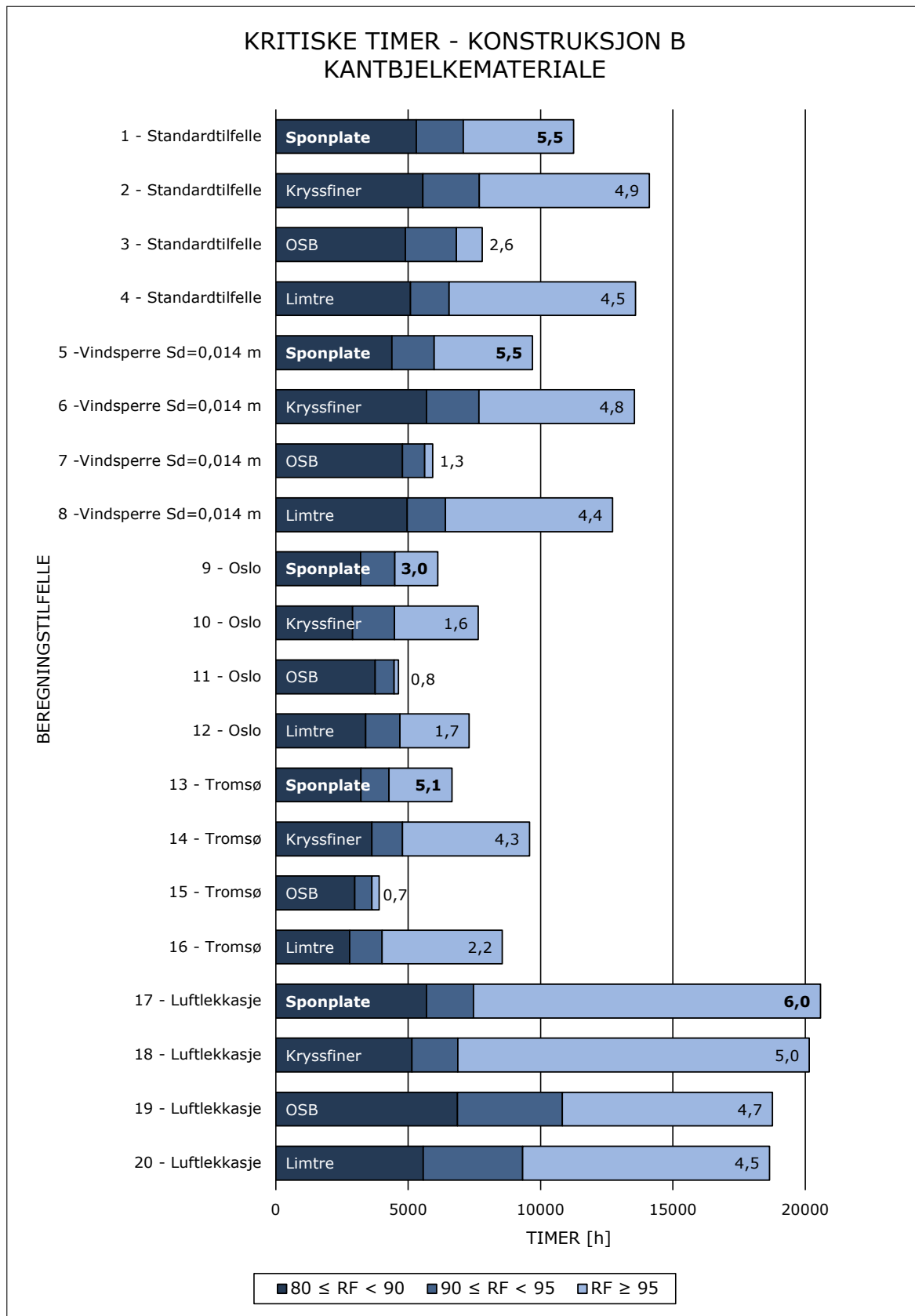
Konstruksjon B

Generelt indikerer beregningsresultatene det samme som resultatene for konstruksjon A; kantbjelkematerialet har stor påvirkning for muggvekstrisikoen i alle beregningstilfellene.

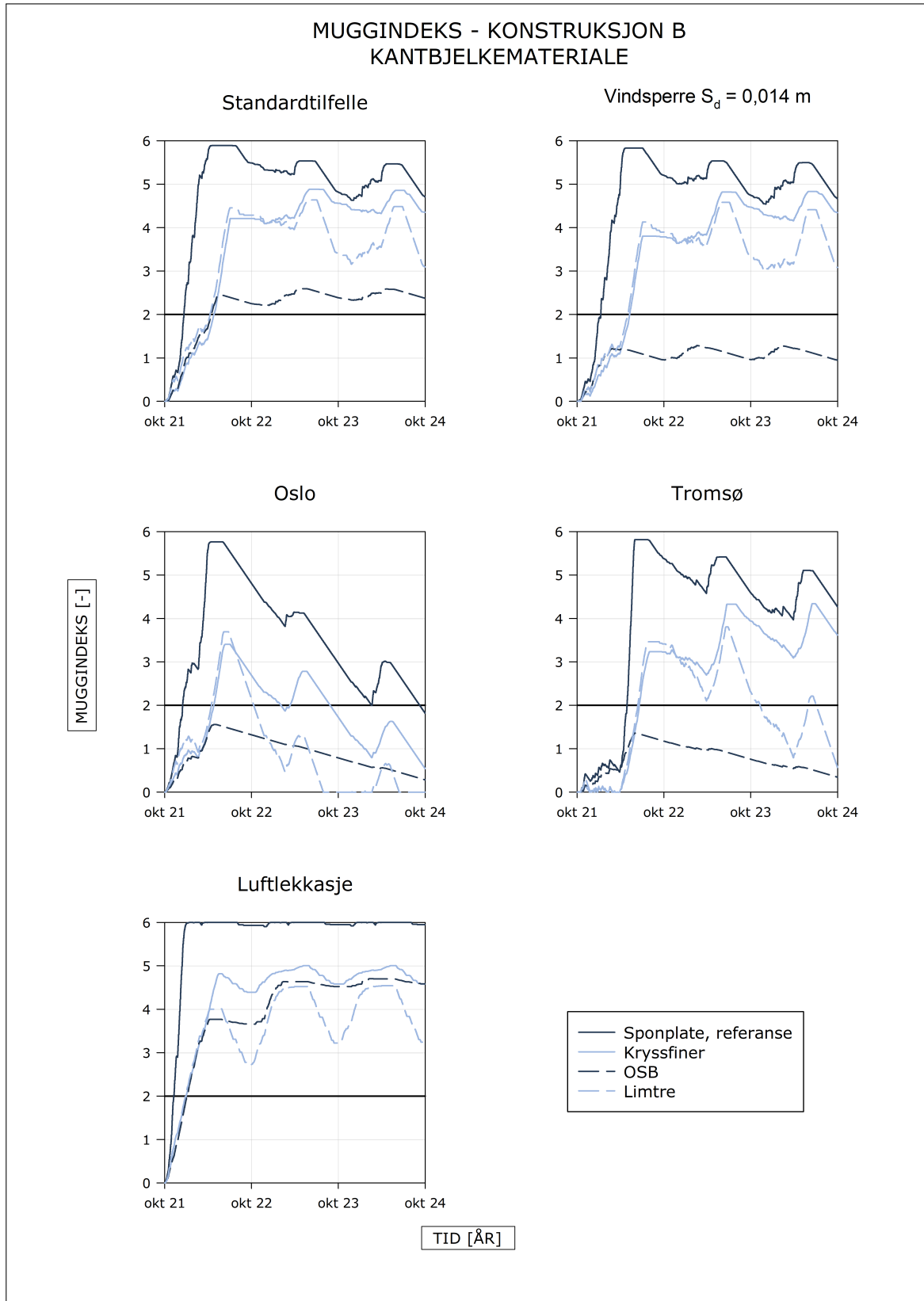
OSB gir akseptabel muggvekstrisiko i alle tilfeller, med unntak av luftlekkasjen. Se figur 4.8. Dette kommer trolig som et resultat av et lavt antall kritiske timer, spesielt med $RF \geq 95\%$. Utviklingen i RF ved bruk av OSB kan også være noe av forklaringen. Figur 4.7 viser at OSB ikke oppnår like høy RF som resterende materialer gjennom vinteren, og tørker opp tidligere mot sommeren. Det fuktet også senere opp på høsten.

Det ser ut som dampmotstand i kantbjelken har svært mye å si for antall kritiske timer som oppnås på kantbjelkens innside. OSB som er den mest dampåpne kantbjelken, gir mulighet for fukt fra inneluften å diffundere forbi kantbjelken i større grad enn hos de andre.

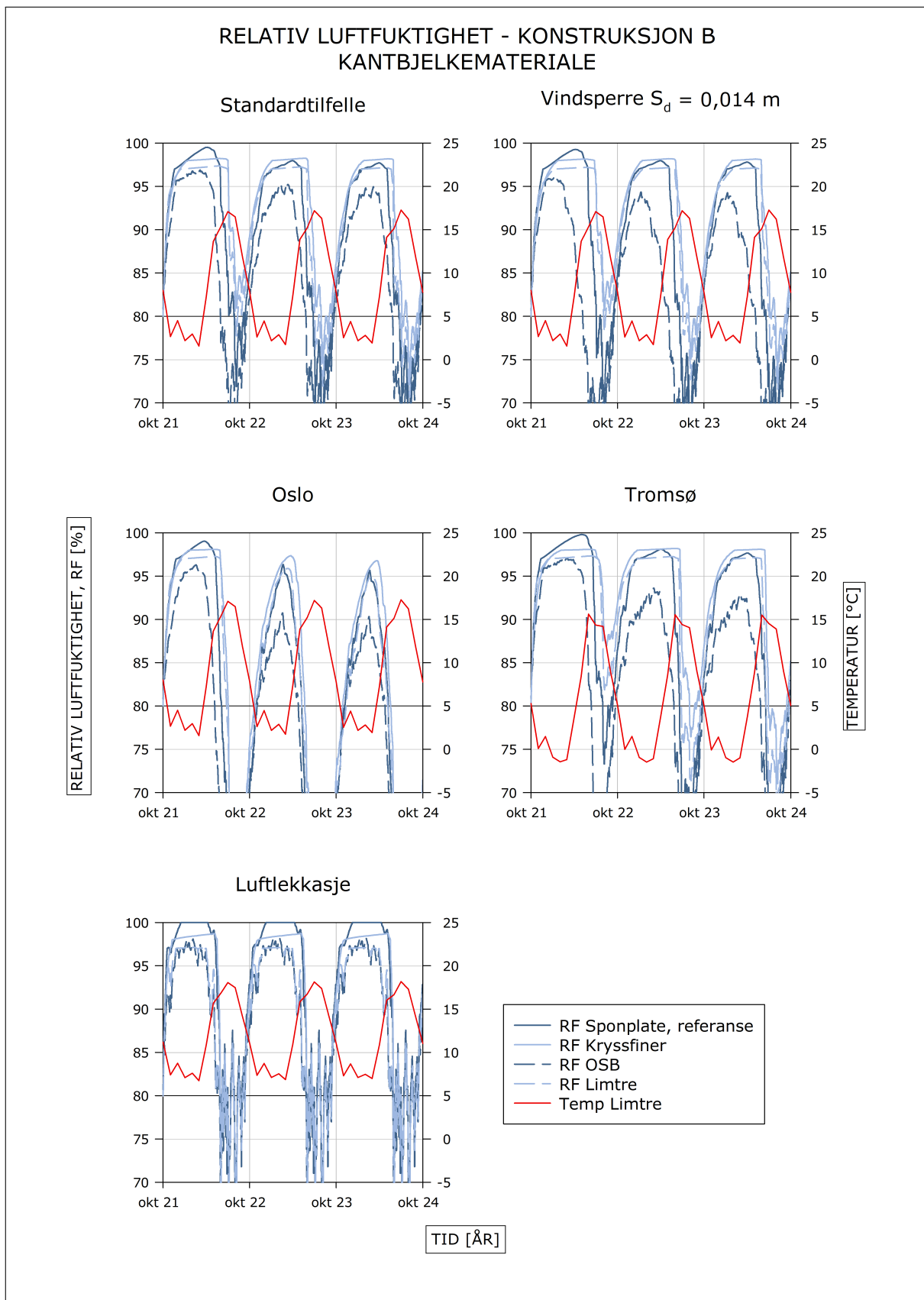
Kryssfiner oppnår i mange tilfeller lavere muggindeks enn sponplaten til tross for flere kritiske timer i de fleste tilfellene. Dette har trolig samme sammenheng som forklart om konstruksjon A.



Figur 4.8: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i kantbjelkematerialet for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.9: Utvikling i muggindeks for ulike kantbjelkematerialer i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.10: Utvikling i RF for ulike kantbjelkematerialer i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.3 Byggfukt

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.2. Resultatene er gitt i figur 4.11 – 4.16 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

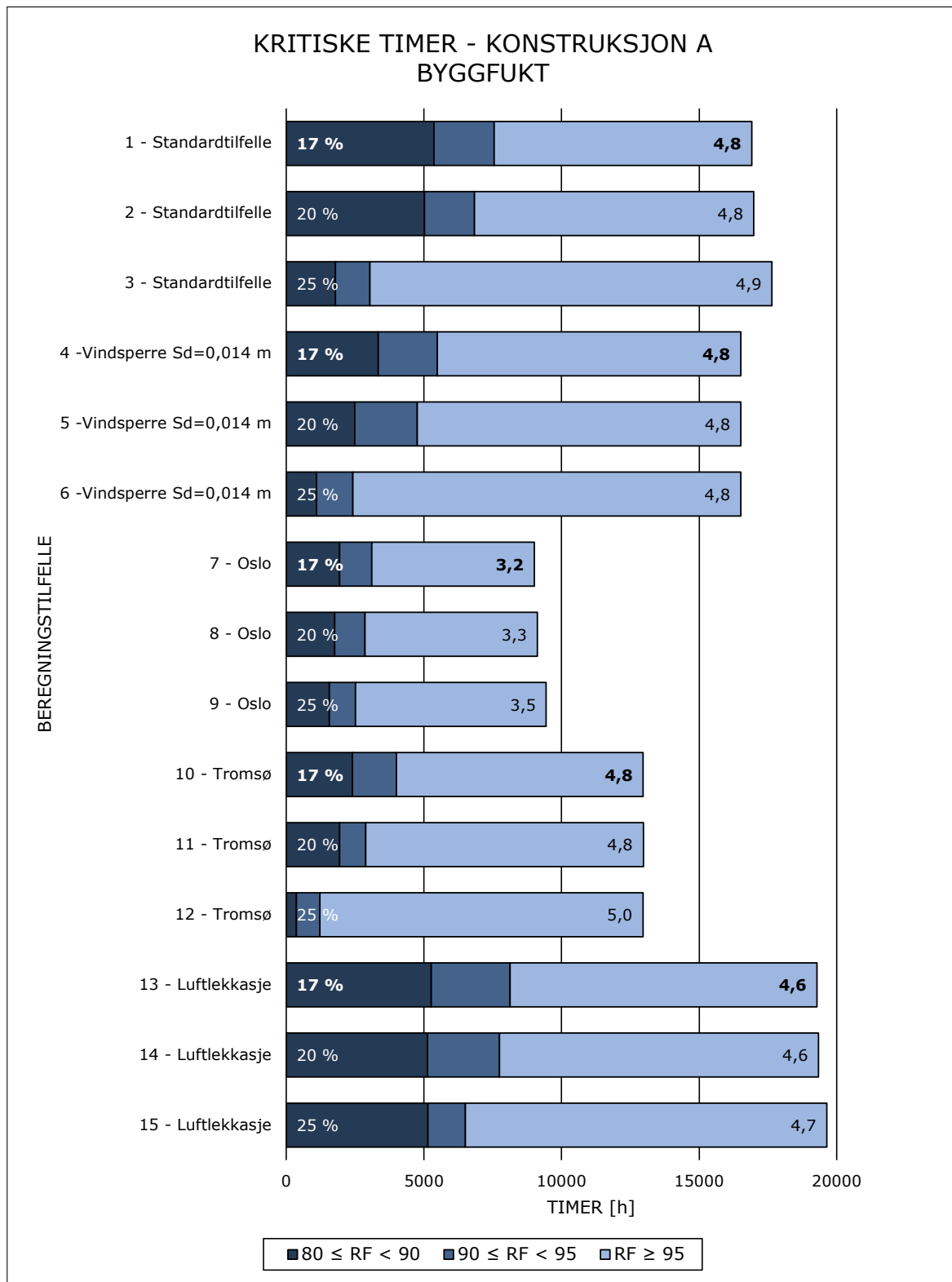
Konstruksjon A

Generelt bidrar ikke byggfukt til særlig endring i muggvekstrisiko. Figur 4.11 viser at høyere byggfukt bidrar til ca. samme maksimale muggindeks tredje året. Dette er trolig et resultat av samme antall og fordeling av kritiske timer.

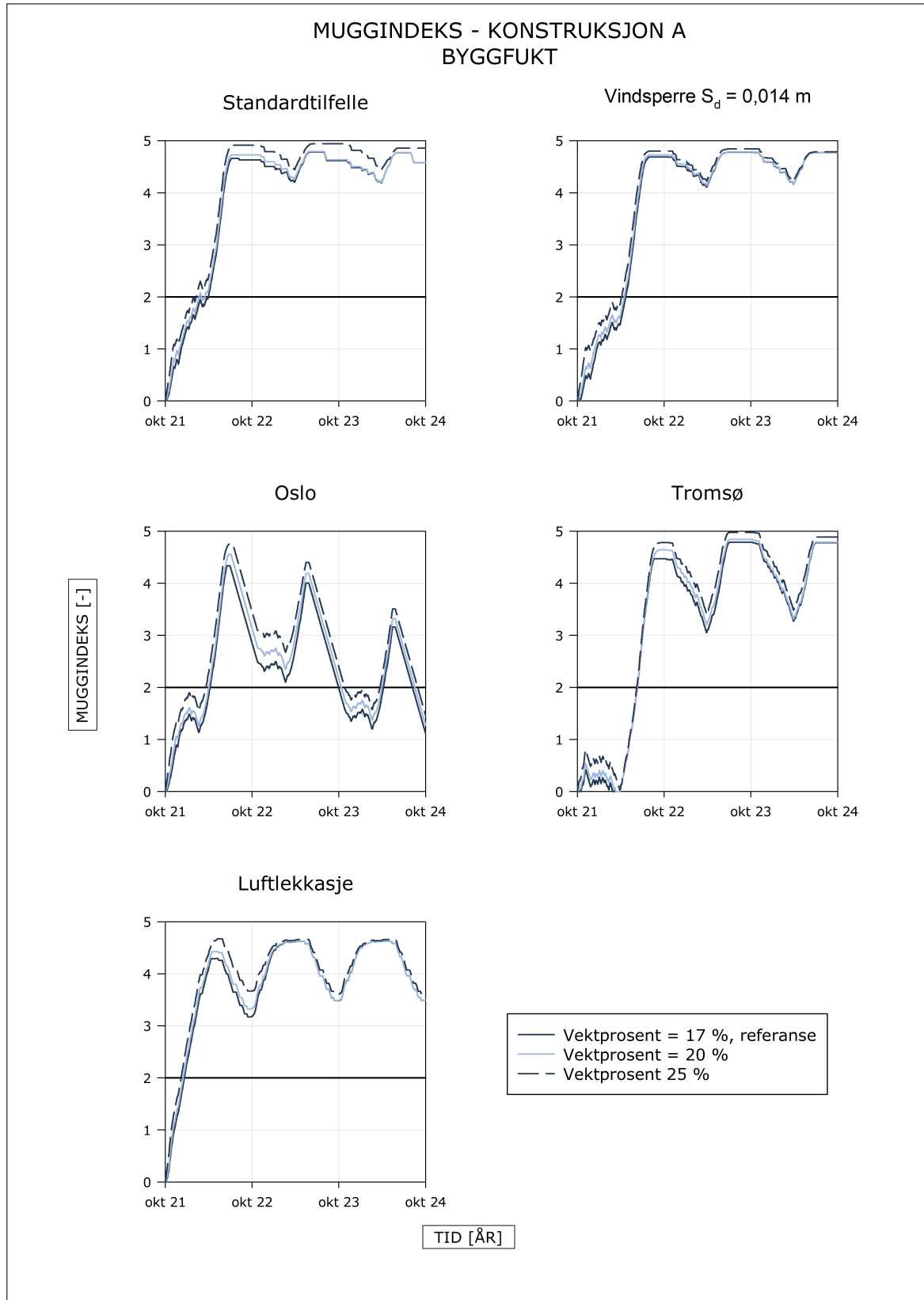
Muggindeksen ved høy byggfukt øker noe tidligere og oppnår en litt høyere verdi første året. Se figur 4.12. Dette er sannsynligvis en konsekvens av høyere startverdi for RF i kantbjelken. Se figur 4.13. Byggfukten bruker naturligvis lenger tid på å tørke ut for de høyere startverdiene. Ved inngangen til det tredje året ser likevel byggfukten ut til å ha tørket ut. Her stabiliserer RF seg rundt samme nivå. Dette fører til at muggindeksen også blir relativt lik.

Konstruksjon B

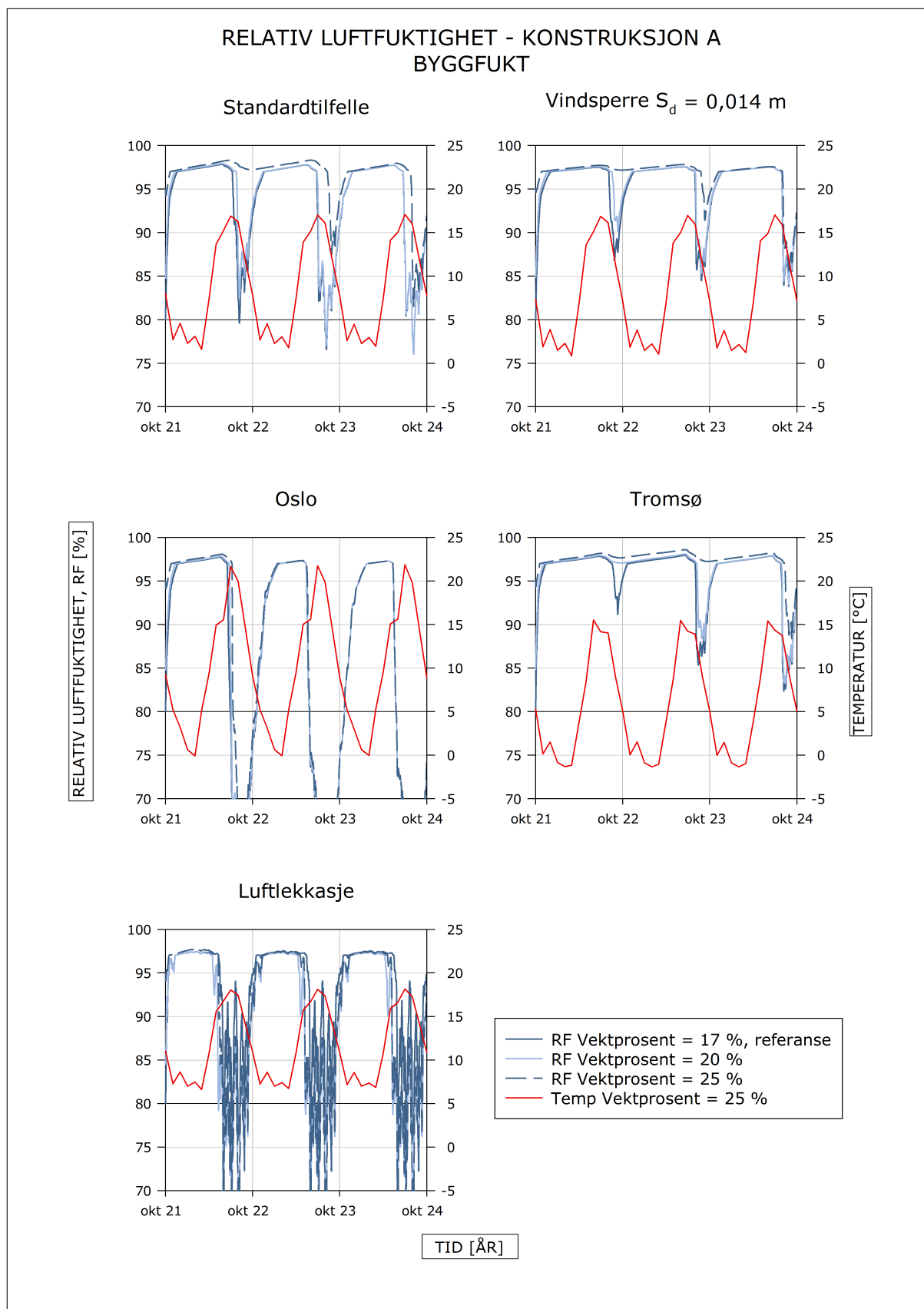
Generelt viser resultatene de samme tendensene som resultatene til konstruksjon A; startverdi for byggfukt har liten påvirkning på muggvekstrisikoen. Se figur 4.14. De ulike startverdiene medfører ca. samme antall kritiske timer. Etter tre år er muggindeksen tilnærmet lik. Se figur 4.15. Da ser byggfukten ut til å ha tørket ut.



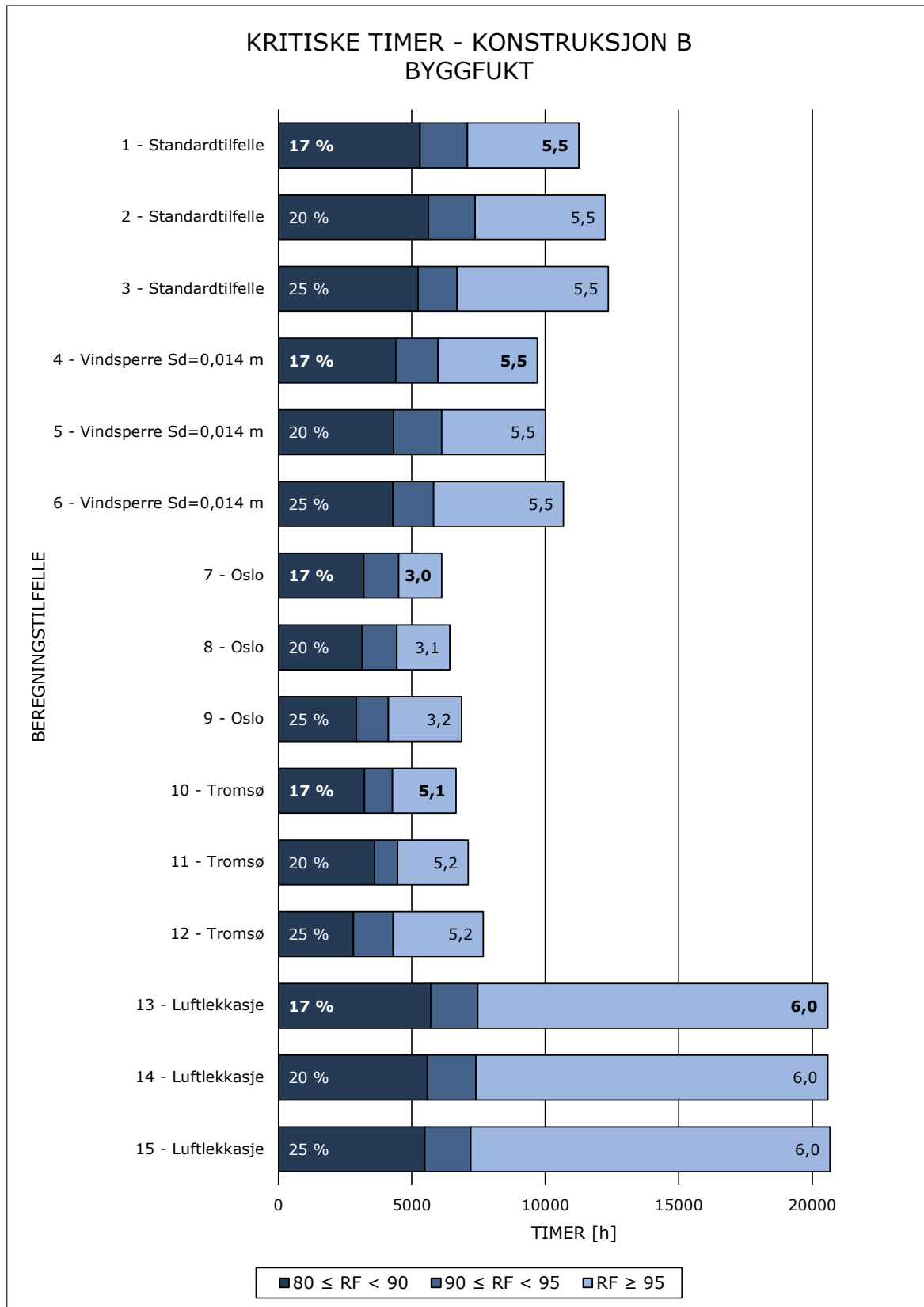
Figur 4.11: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i byggfukt for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



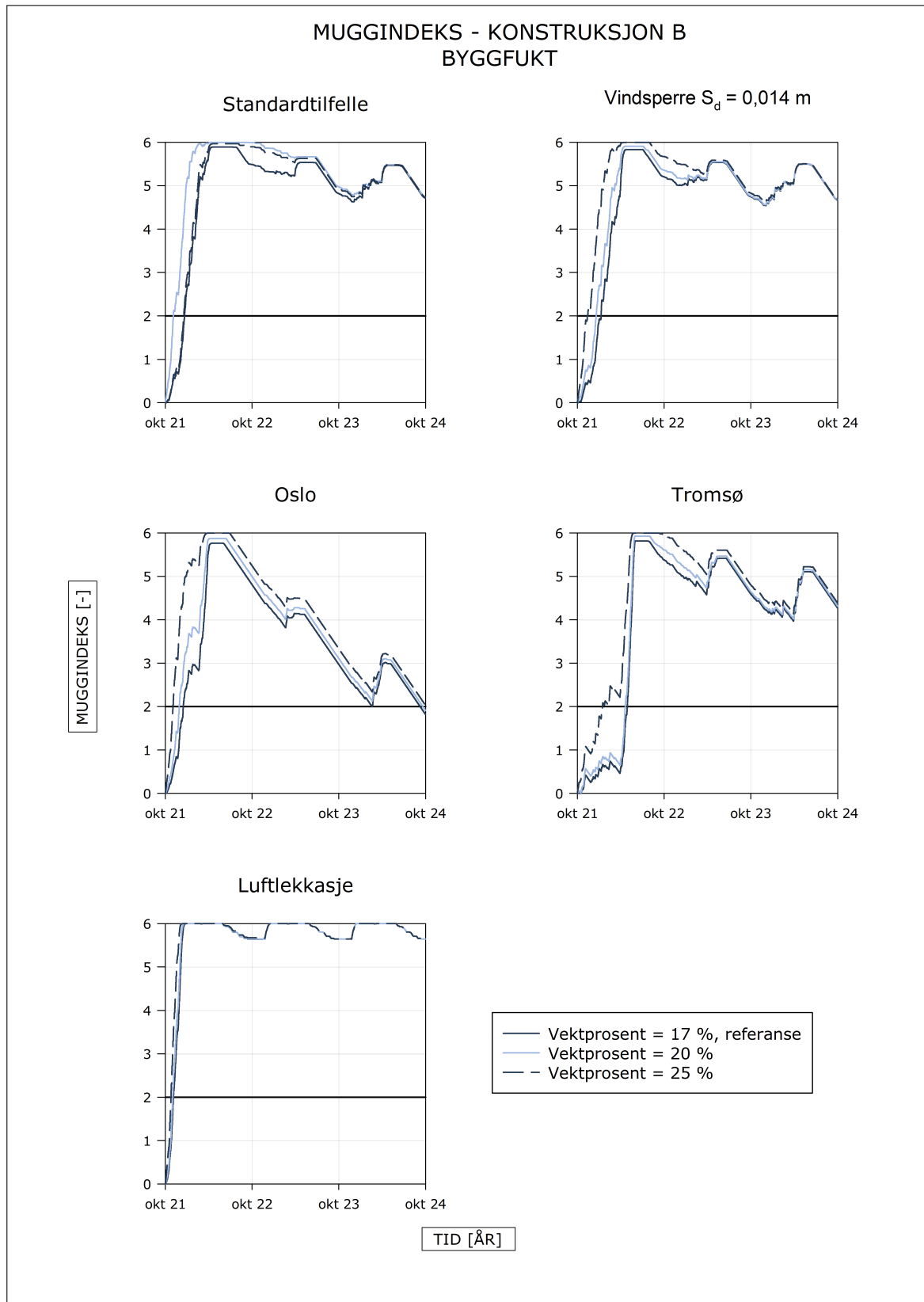
Figur 4.12: Utvikling i muggindeks for ulike byggfukt i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



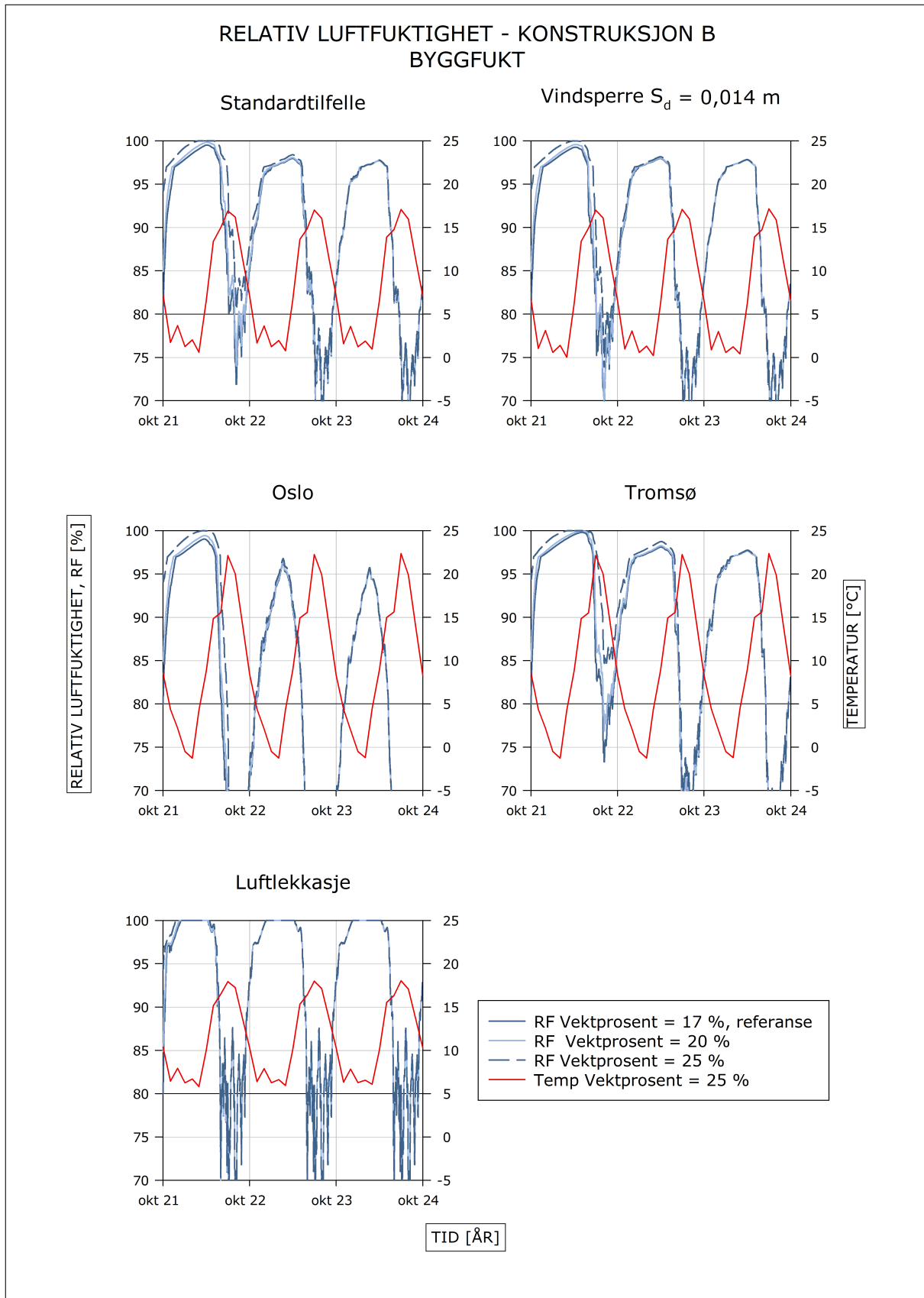
Figur 4.13: Utvikling i RF for ulike byggfukt i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.



Figur 4.14: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i byggefukt for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



Figur 4.15: Utvikling i muggindeks for ulike byggfukt i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.16: Utvikling i RF for ulike byggfukt i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.4 Kantbjelkens plassering

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.5. Resultatene er gitt i figur 4.17 – 4.22 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

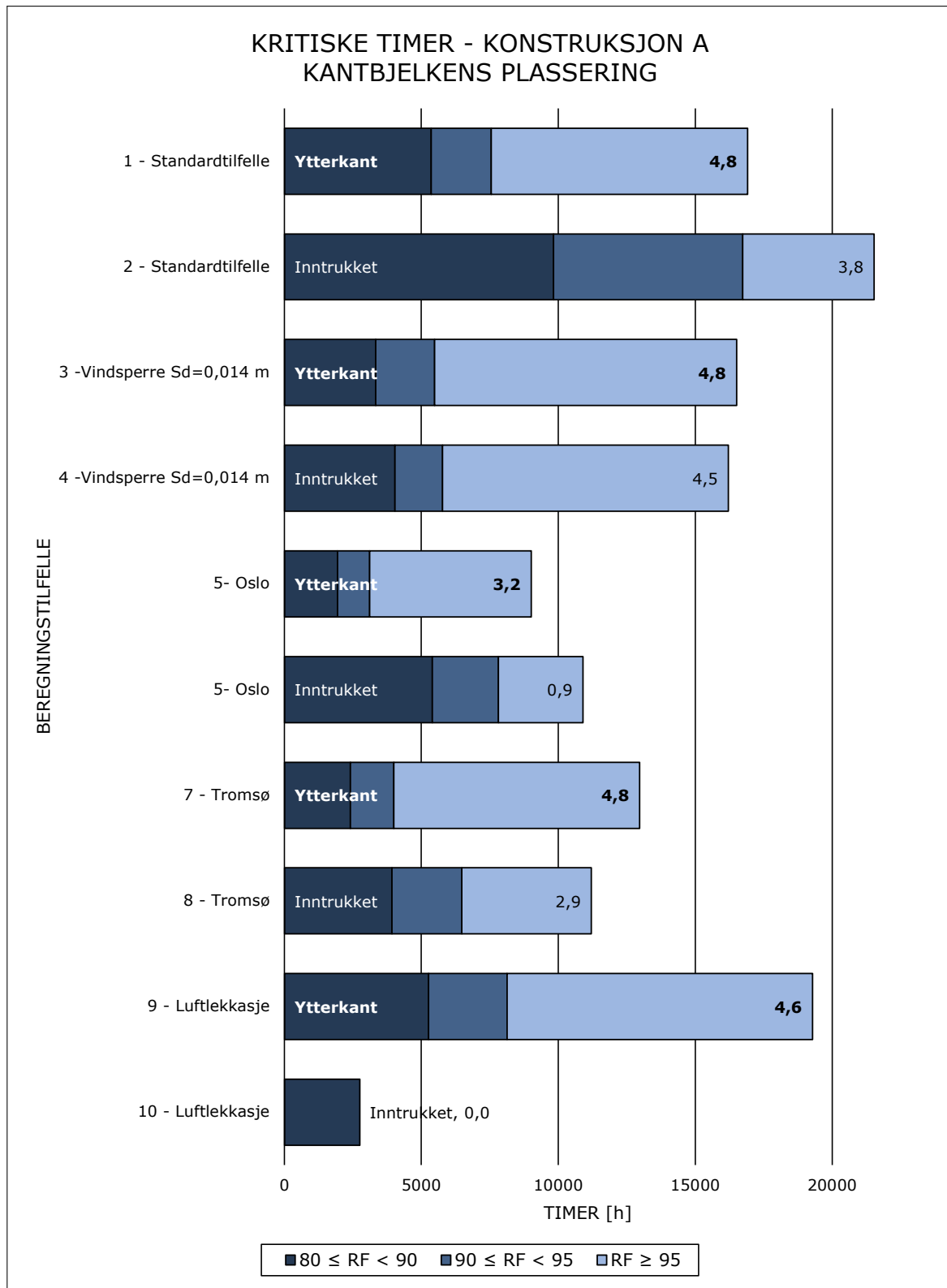
Det er generelt en lavere muggvekstrisiko ved bruk av inntrukket kantbjelke. Dette kommer tydelig fram av figur 4.17. Kun Oslo oppnår maksimal muggindeks tredje år under akseptabel grense. Antall kritiske timer varierer, men inntrukket kantbjelke fører til færre kritiske timer hvor $RF \geq 95\%$. Dette er sannsynligvis forklaringen på hvorfor muggindeksen er lavere for en inntrukket kantbjelke.

En inntrukket kantbjelke viser raskere økning i muggindeks det første halvåret. Se figur 4.18. Samtidig fremgår det av figur 4.19 at RF øker ca. likt, om ikke saktere i samme periode. Dette gjelder for alle situasjonene uten luftlekkasje. Derav kan ikke RF være forklaringen på forskjellene i muggindeks. Grunnen er trolig ulik temperatur på kantbjelkens innside. Ved en inntrukket kantbjelke vil temperaturen naturligvis være noe høyere på grunn av isolasjonssjiktet på utsiden. Som nevnt i kapittel 2.4 vokser mugg raskere ved høyere temperaturer. Dette forklarer trolig gunstige vekstbetingelser for muggsopp i periodene med høy RF det første året.

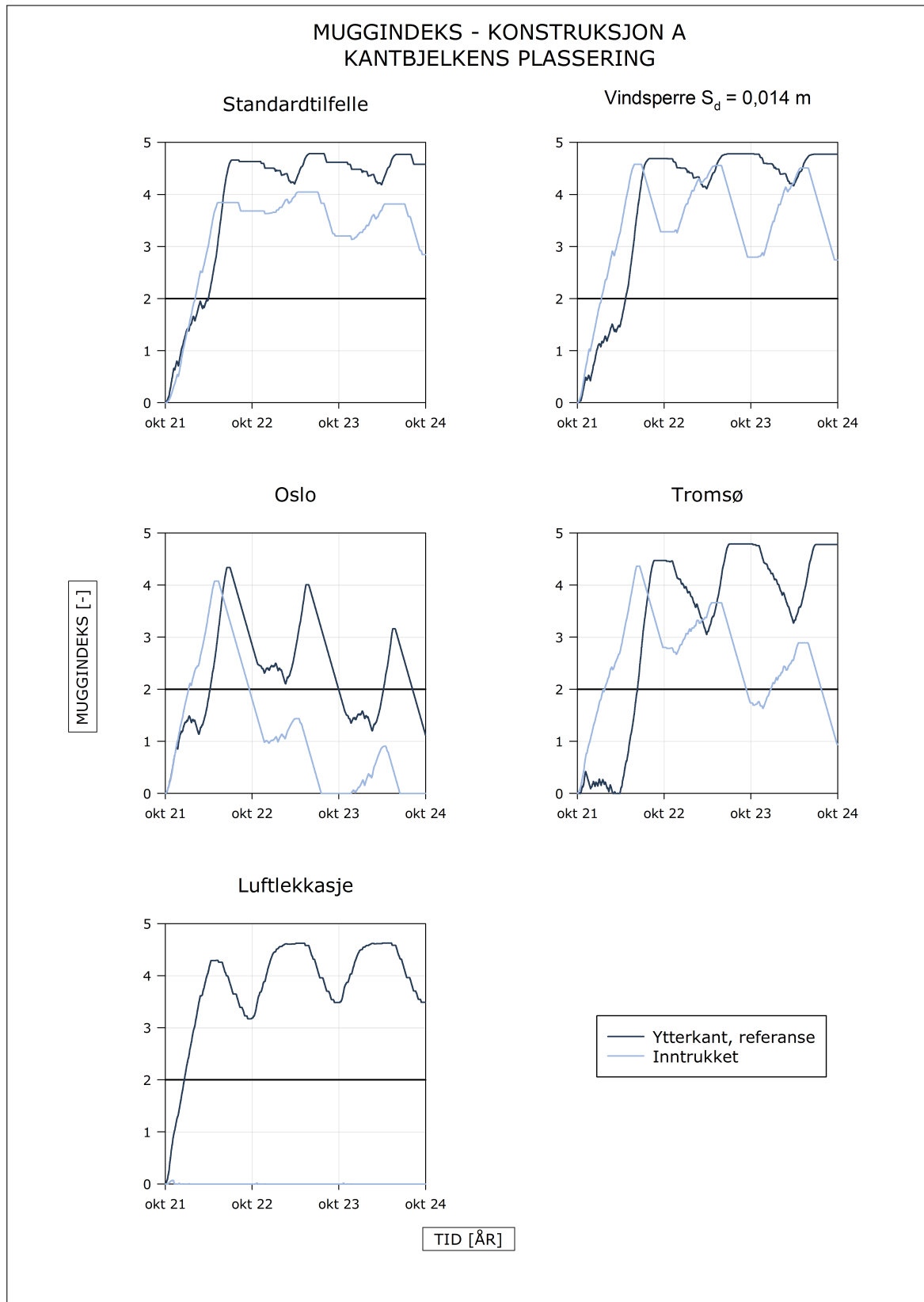
Videre ser muggindeksen ut til å synke betraktelig i forhold til referansen de påfølgende årene. Dette kommer som følge av lavere RF, som trolig er forårsaket av at byggfukten har rukket å tørke ut. Etter at byggfukten har tørket ut, vil den økte temperaturen føre til at RF ikke øker til de samme nivåene som referansen.

I Tromsø viser muggindeksen en tydelig reduksjon. Her ser byggfukten ut til å ha tørket ut allerede etter første året. Dette kommer også trolig av høyere temperatur på kantbjelkens innside. Resultatet blir kortere perioder med gunstige muggvekstforhold og derav lavere muggindeks.

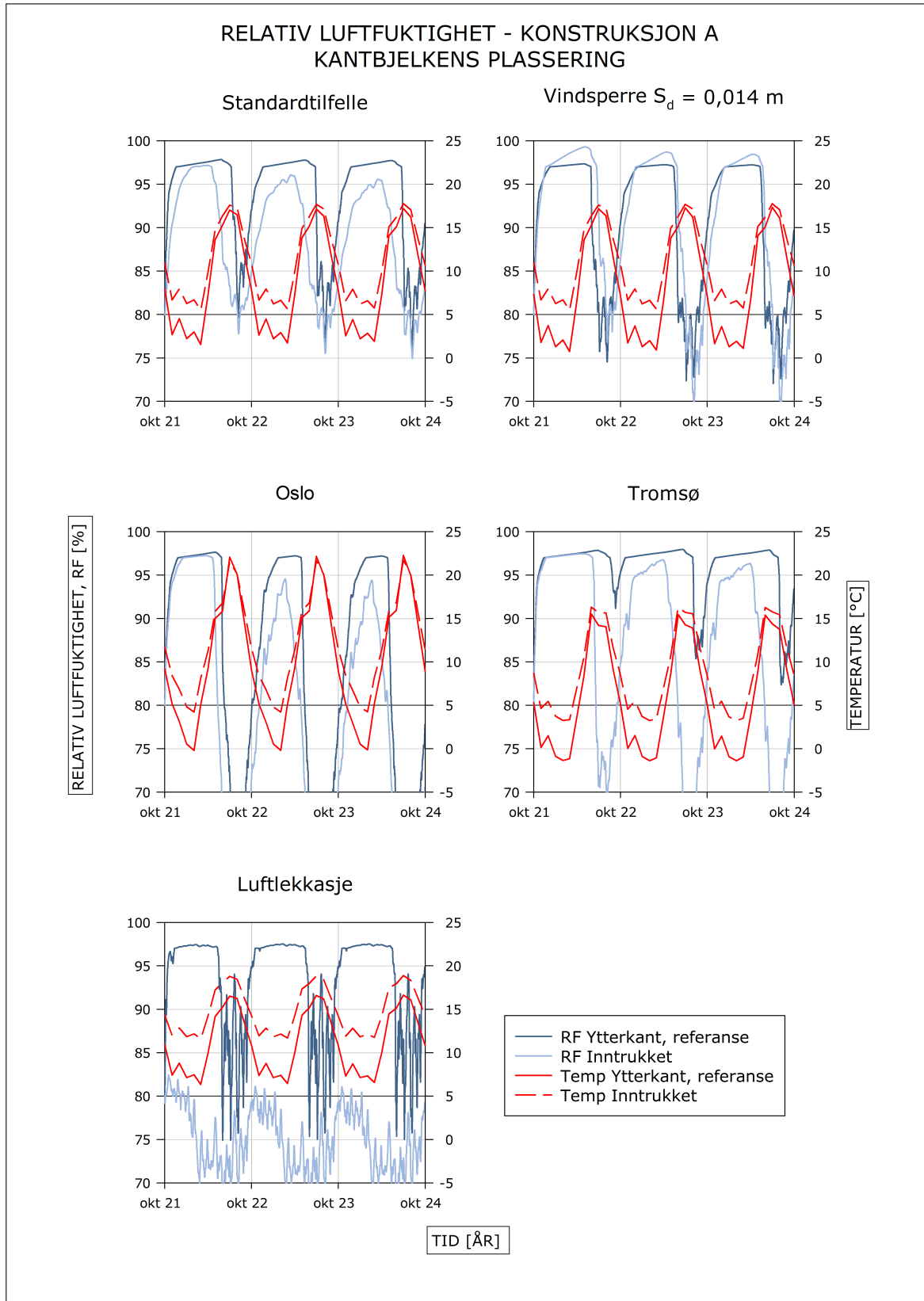
Tilstedeværelse av en luftlekkasje resulterer i svært lav muggvekstrisiko. Muggindeksen gjør et svært lite “hopp” den første måneden før den holder seg på 0 resten av perioden. Årsaken ser ut til å være det minimale antallet kritiske timer som oppstår gjennom simuleringsperioden. Dette kommer av at RF holder seg lavere enn 80 % i største del av perioden. En mulig årsak til det lave fuktivnivået kan være at temperaturen på kantbjelkens innside blir såpass høy som følge av luftlekkasjen. Luften får dermed tilstrekkelig fuktkapasitet til å holde RF lav gjennom hele perioden, også i møte med kantbjelkens overflate som holder høyere temperatur enn ved referansen. En annen grunn til resultatene kan være simuleringsproblemer.



Figur 4.17: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon kantbjelkens plassering for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



Figur 4.18: Utvikling i muggindeks for ulike plasseringer av kantbjelken i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



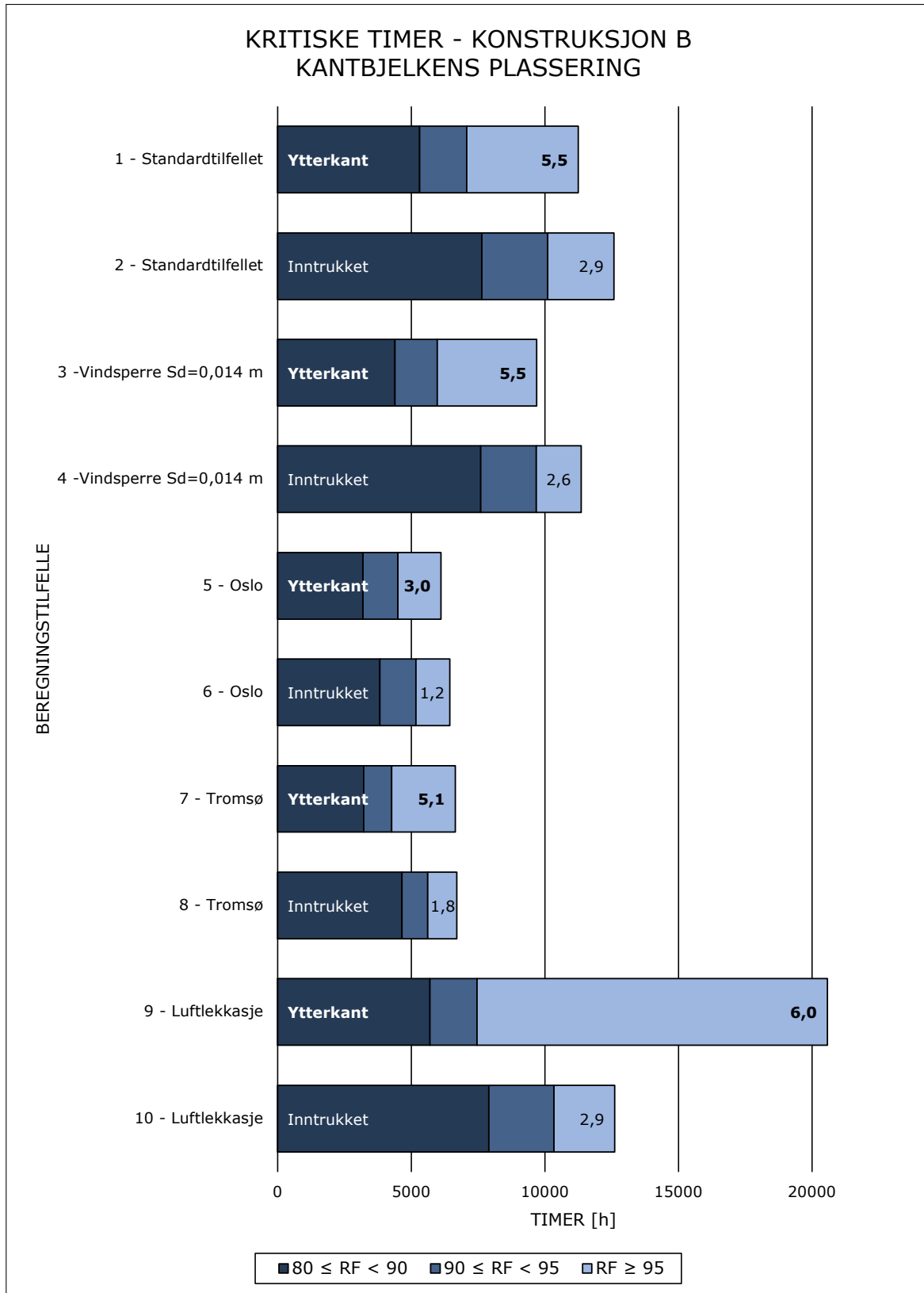
Figur 4.19: Utvikling i RF for ulike plasseringer av kantbjelken i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

Konstruksjon B

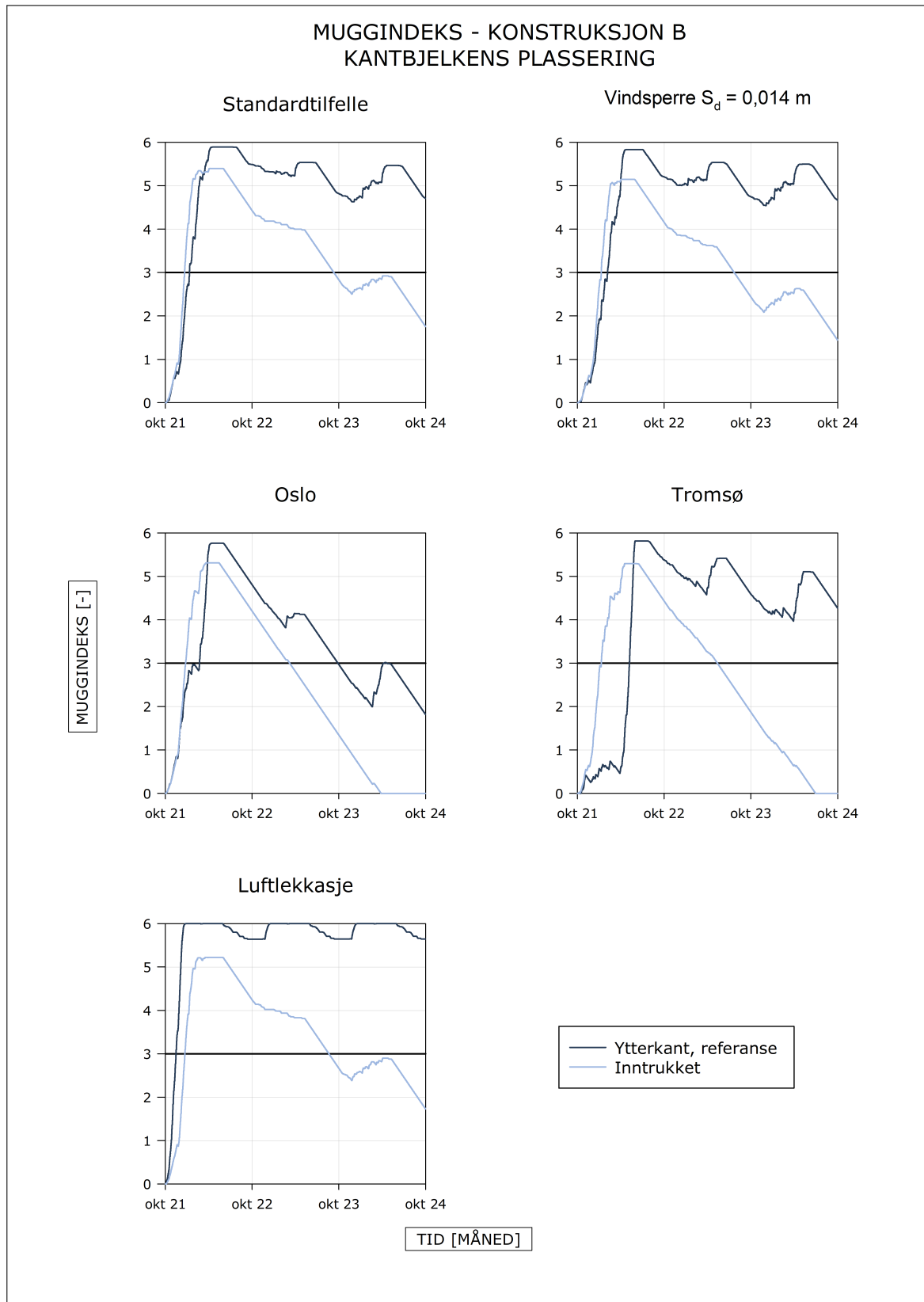
Generelt viser konstruksjon B de samme tendensene som konstruksjon A. Risikoen for muggvekst er lavere for en inntrukket kantbjelke. Se figur 4.20. Her ser årsaken også ut til å være det lave antallet kritiske timer med $RF \geq 95\%$.

Muggvekstrisikoen er vesentlig lavere for konstruksjon B enn for konstruksjon A. Til tross for å ha samme raske økning, synker muggindeksen i konstruksjon B betraktelig etter første halvår. Se 4.21. Både Oslo og Tromsø har en akseptabel muggindeks etter tre år. Alle tilfellene viser en sterkt synkende trend for muggindeksen ved inntrukket kantbjelke.

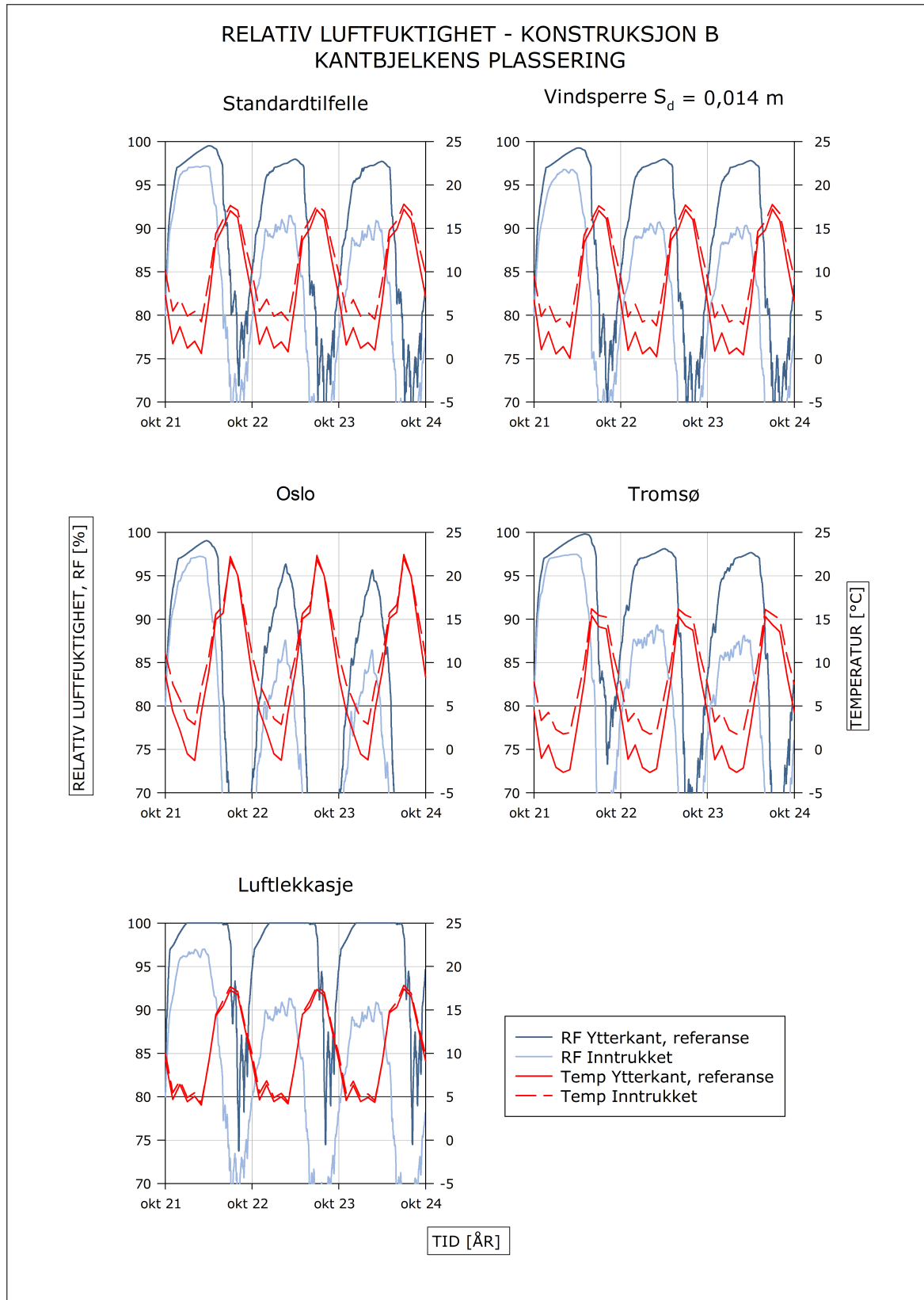
Den lave muggvekstrisikoen forklares av en vesentlig lavere RF. Se figur 4.22. I alle tilfellene ser RF ut til å ligge 15-20 prosentpoeng under referansen for toppunktene. Dampmotstanden i kubbingen stopper trolig nok fukt fra å slippe gjennom slik at RF blir tilstrekkelig høy i møte med en kantbjelke som holder høyere temperatur enn ved referansen.



Figur 4.20: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i kantbjelkens plassering for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.21: Utvikling i muggindeks for ulike plasseringer av kantbjelken i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.22: Utvikling i RF for ulike plasseringer av kantbjelken i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst. Referansen er uthevet.

4.2.5 Bjelkelagsisolasjon

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.6. Resultatene er gitt i figur 4.23 – 4.28 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

Generelt gir ikke ulik isolasjonstykkelse stor variasjon i risiko for muggvekst med unntak av Oslo. Høyeste muggindeks tredje år ligger rundt det samme for hvert beregningstilfelle. Se figur 4.23. Dette kommer som resultat likt antall kritiske timer, samt fordelingen av disse.

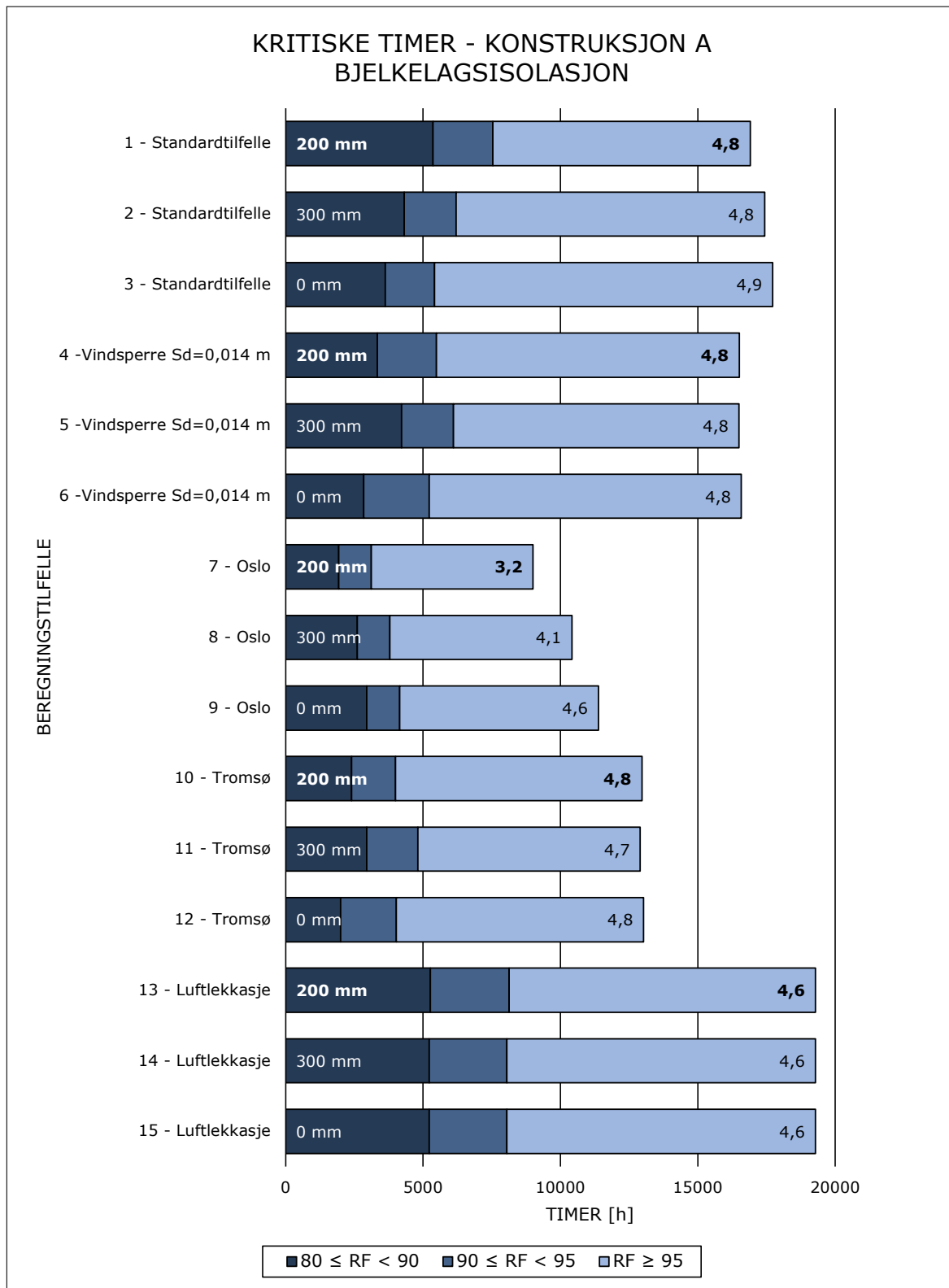
Muggindeksen følger de samme trendene uavhengig av isolasjonstykkelse. Se figur 4.24. Den største forskjellen ser ut til å være med Oslo som uteklime. Dette til tross for at RF viser seg å være rimelig lik. Det ser ut som kantbjelken tørker ut noe tidligere ved 200 mm bjelkelagsisolasjon. Dette skjer i en periode med relativt høy temperatur på kantbjelkens innside. Den høye temperaturen sørger trolig for svært gode vekstforhold i kantbjelken for de andre isolasjonstykkelsene. Slik vil det oppstå muggvekst før luftfuktigheten kryper under grensen på 80 %.

Konstruksjon B

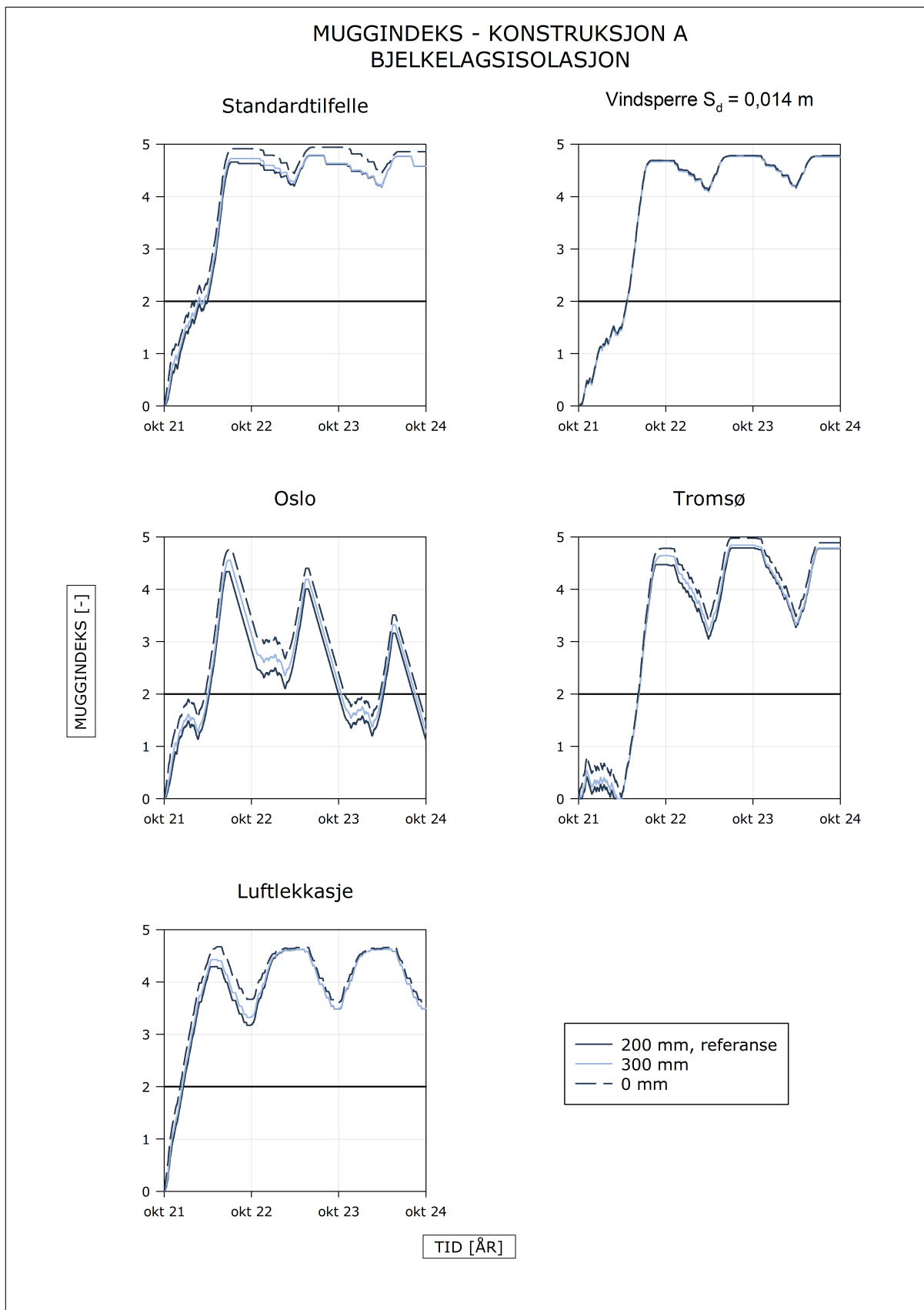
Generelt viser endring i isolasjonstykkelse liten endring i muggvekstrisiko. Figur 4.26 viser at en økning i isolasjonstykkelse medfører en svært liten reduksjon i muggindeks og kritiske timer. Ingen beregningstilfeller gir akseptabel muggindeks. Muggindeksen følger samme trend for de ulike isolasjonstykkelsene i beregningstilfellene. Se figur 4.27.

Liten variasjon i muggindeks kommer som følge av likheten RF og følgelig kritiske timer for de ulike isolasjonstykkelsene. Temperaturforskjellen er så og si den samme, og dette er trolig på grunn av kantisolasjonen som ikke er endret. Dermed vil ikke temperaturer innenfra påvirke kantbjelken i særlig grad, og dermed ikke forårsake særlige endringer i RF.

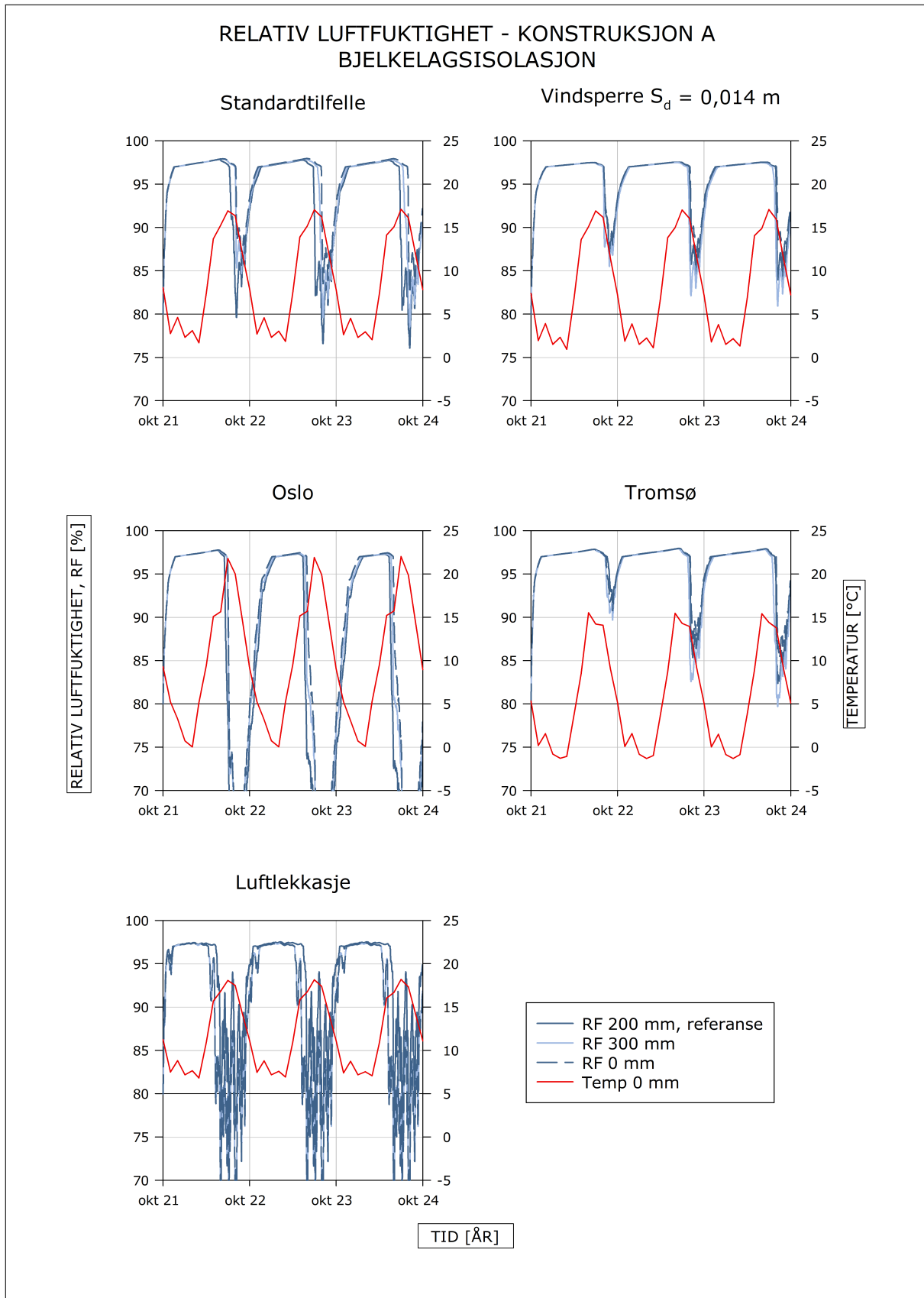
Årsaken til den svake reduksjonen kan ha sammenheng med mineralullens dampmotstand. Økt tykkelse øker dampmotstanden noe. Dette fører trolig til den minimale endringen. En annen grunn til at variasjonen er såpass liten, kan være at kubbingen har en såpass bremsende effekt overfor luft- og damplekkasjer at RF ute ved kantbjelken ikke vil påvirkes av den endrede isolasjonstykkelsen i bjelkelaget.



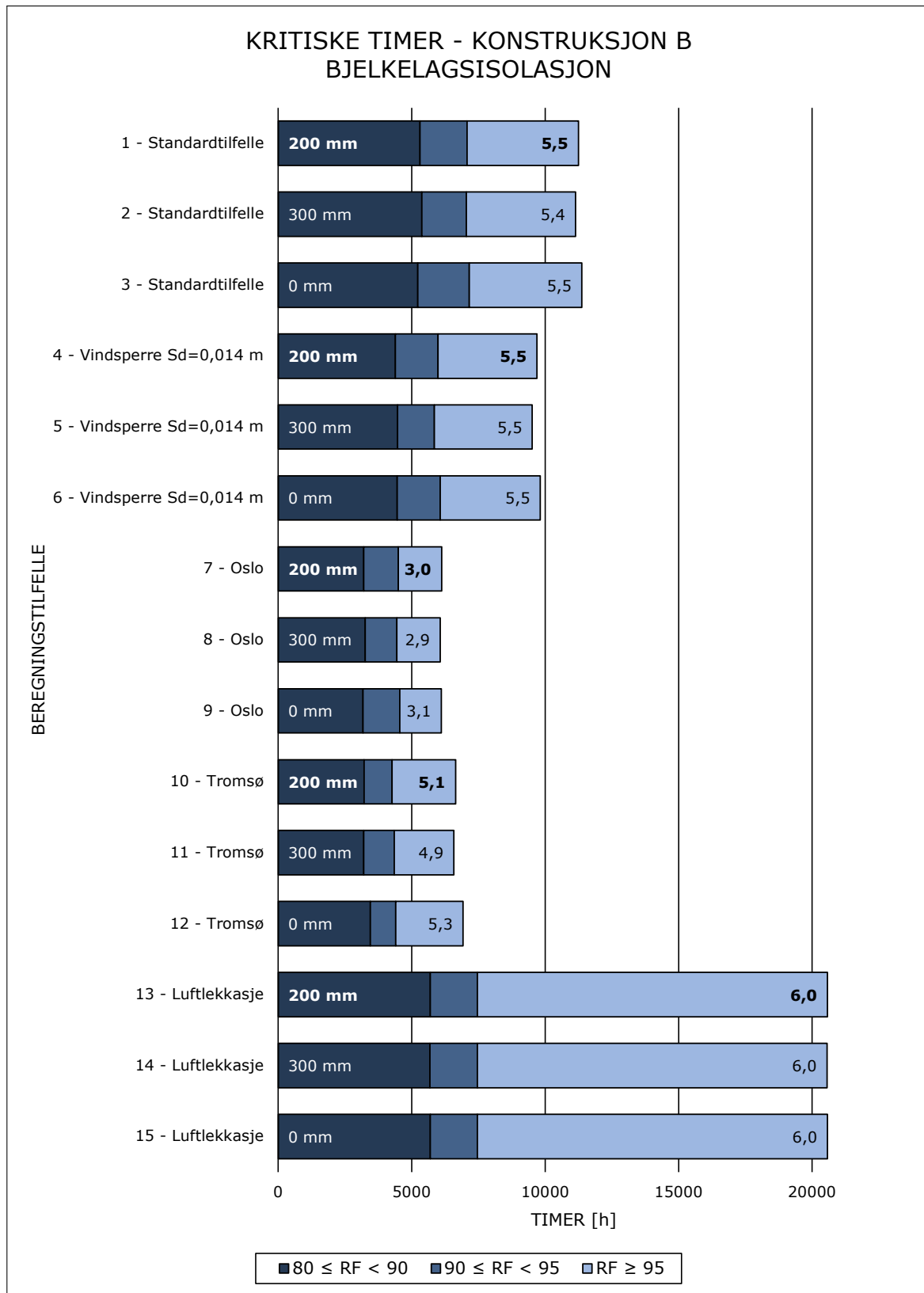
Figur 4.23: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i bjelkelagets isolasjonstykkelse for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



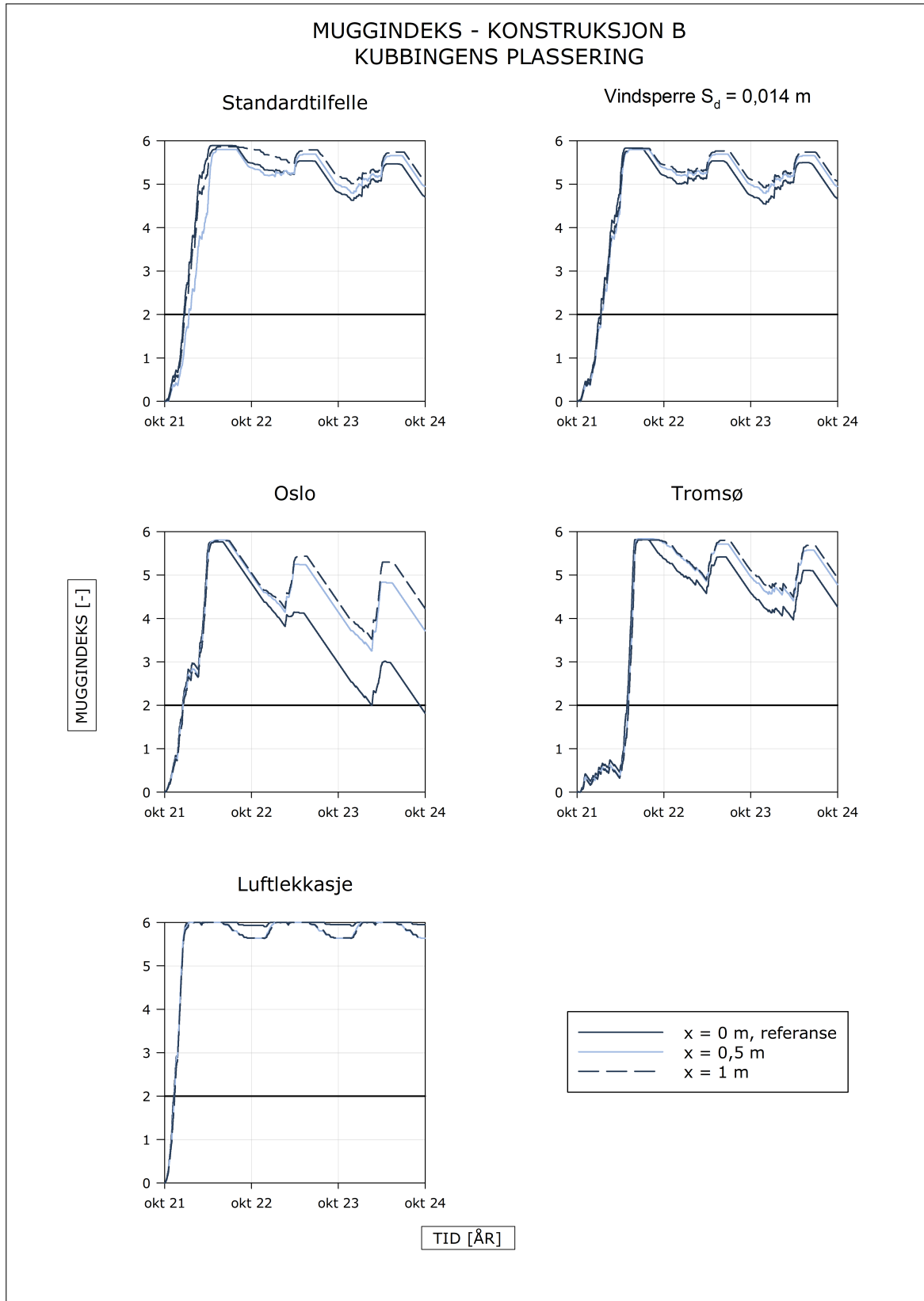
Figur 4.24: Utvikling i muggindeks for ulike isolasjonstykkelse i bjelkelaget i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



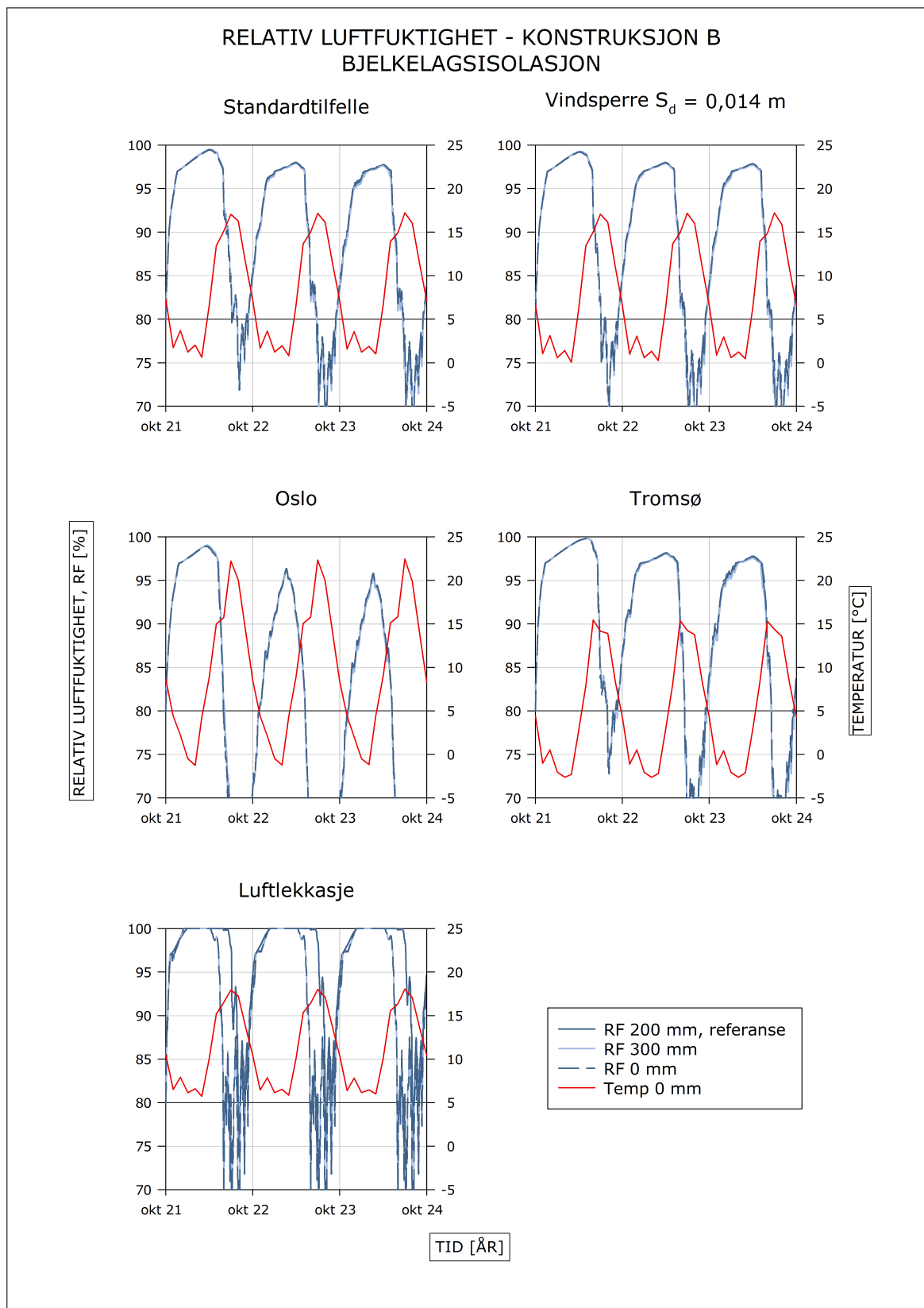
Figur 4.25: Utvikling i RF for ulike isolasjonstykkelse i bjelkelaget i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.



Figur 4.26: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i bjelkelagets isolasjonstykkelse for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.27: Utvikling i muggindeks for ulike isolasjonstykkelse i bjelkelaget i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.28: Utvikling i RF for ulike isolasjonstykkelse i bjelkelaget i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.6 Materiale i himling

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.7. Resultatene er gitt i figur 4.29 – 4.34 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

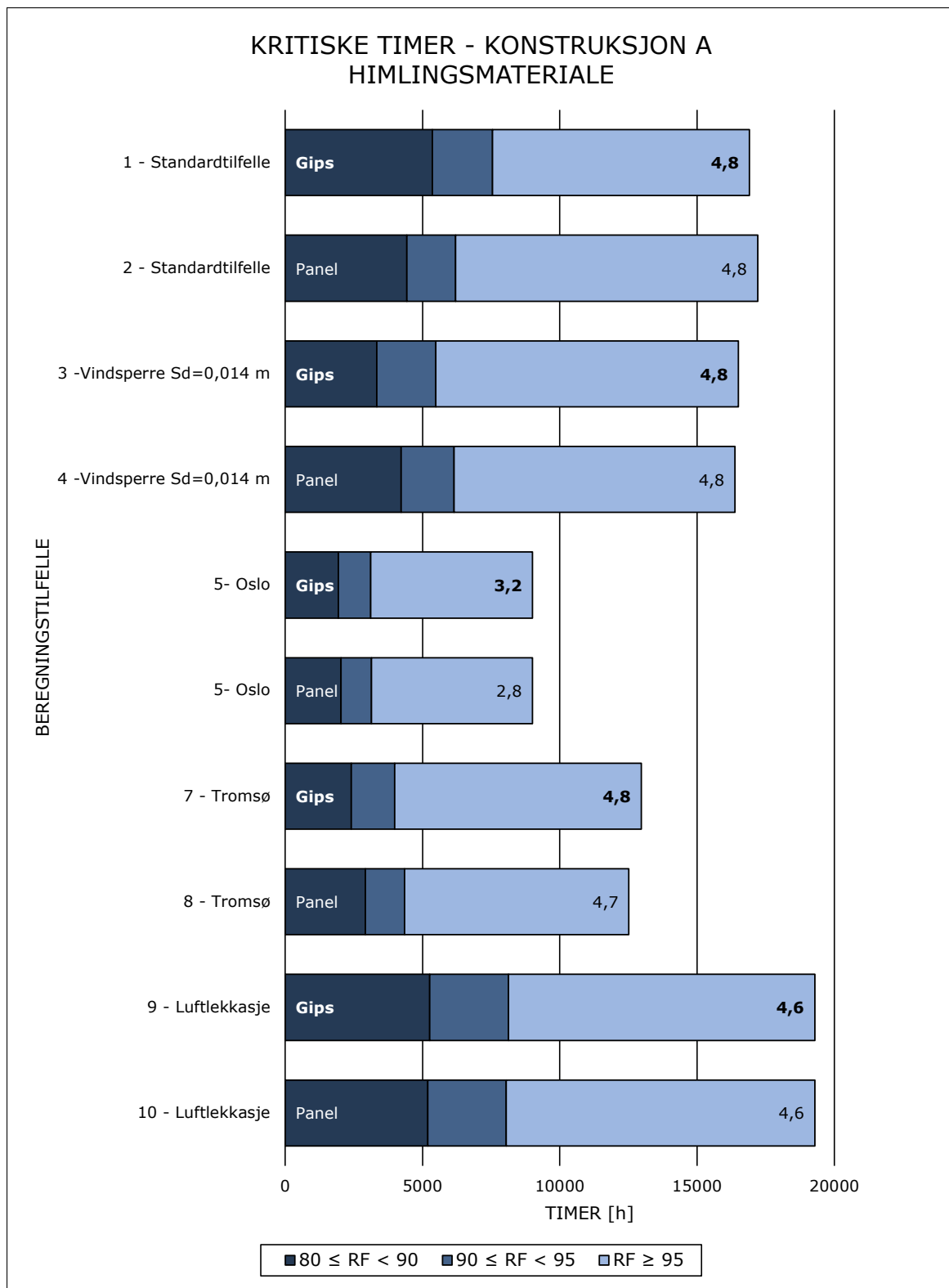
Variasjon i himlingmaterialet medfører minimal endring i risiko for muggvekst. Resultatene i figur 4.29 viser ingen tydelig variasjon i kritiske timer eller muggindeks som følge av ulike himlingsmaterialer. Ingen beregningstilfeller oppnår akseptabel muggvekst. Utviklingen til muggindeks og RF er også svært like i simuleringsperioden. Se figur 4.30 og 4.31.

Endringen i dampmotstand i himlingen forårsaker ingen tydelig endring i muggvekst. Årsaken er trolig at panelets litt høyere dampmotstand ikke er en stor nok økning til å resultere i tydelig mindre fuktvandring. De største forskjellene som oppnås i RF er ved sine laveste verdier, hvor betingelsene for muggvekst ikke er særlig gode.

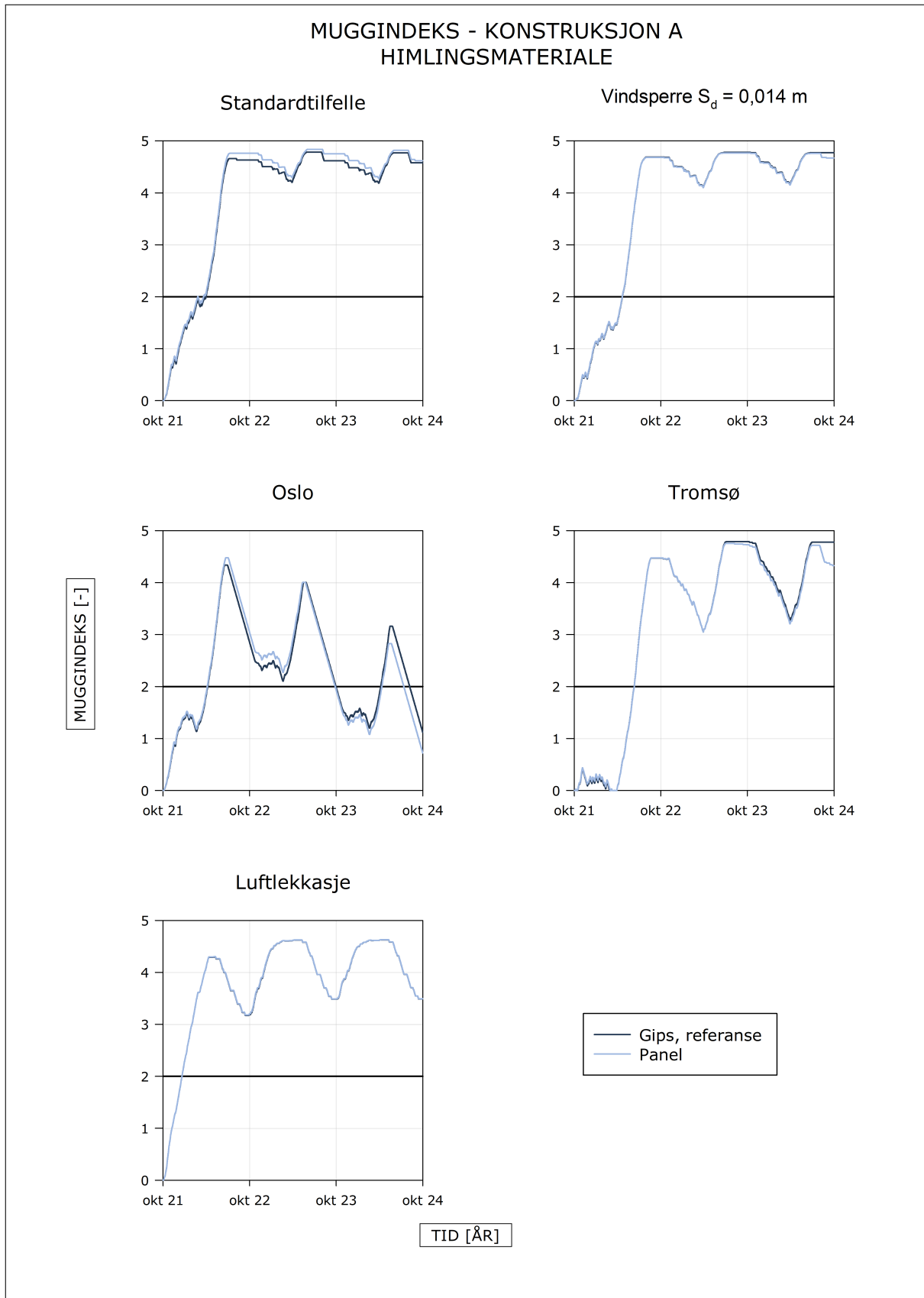
Konstruksjon B

Konstruksjon B viser de samme tendensene som konstruksjon A. Det er liten variasjon i risiko for muggvekst for de ulike himlingsmaterialene. Se figur 4.26. Her oppnås heller ingen akseptabel muggvekst. Her ser forskjellene i muggindeks og RF ut til å være enda mindre. Se figur 4.33 og 4.34.

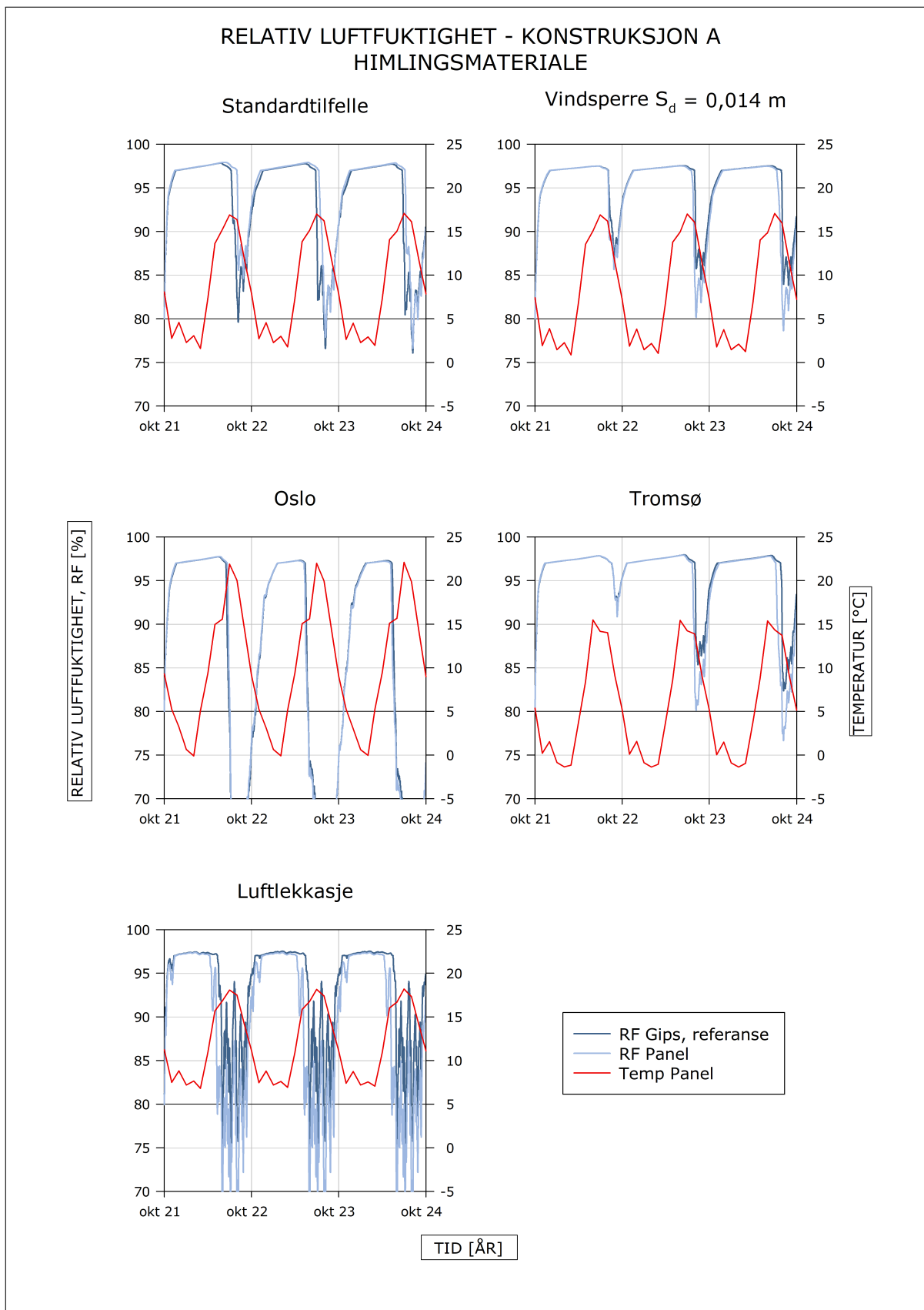
Årsaken til den minimale forskjellen er trolig den samme som for konstruksjon A. I tillegg vil kubbingen utligne endringen i himling til en viss grad. Den økte fukten som eventuelt slipper forbi himlingslaget, vil trolig ikke passere det mer damptette kubbingmaterialet.



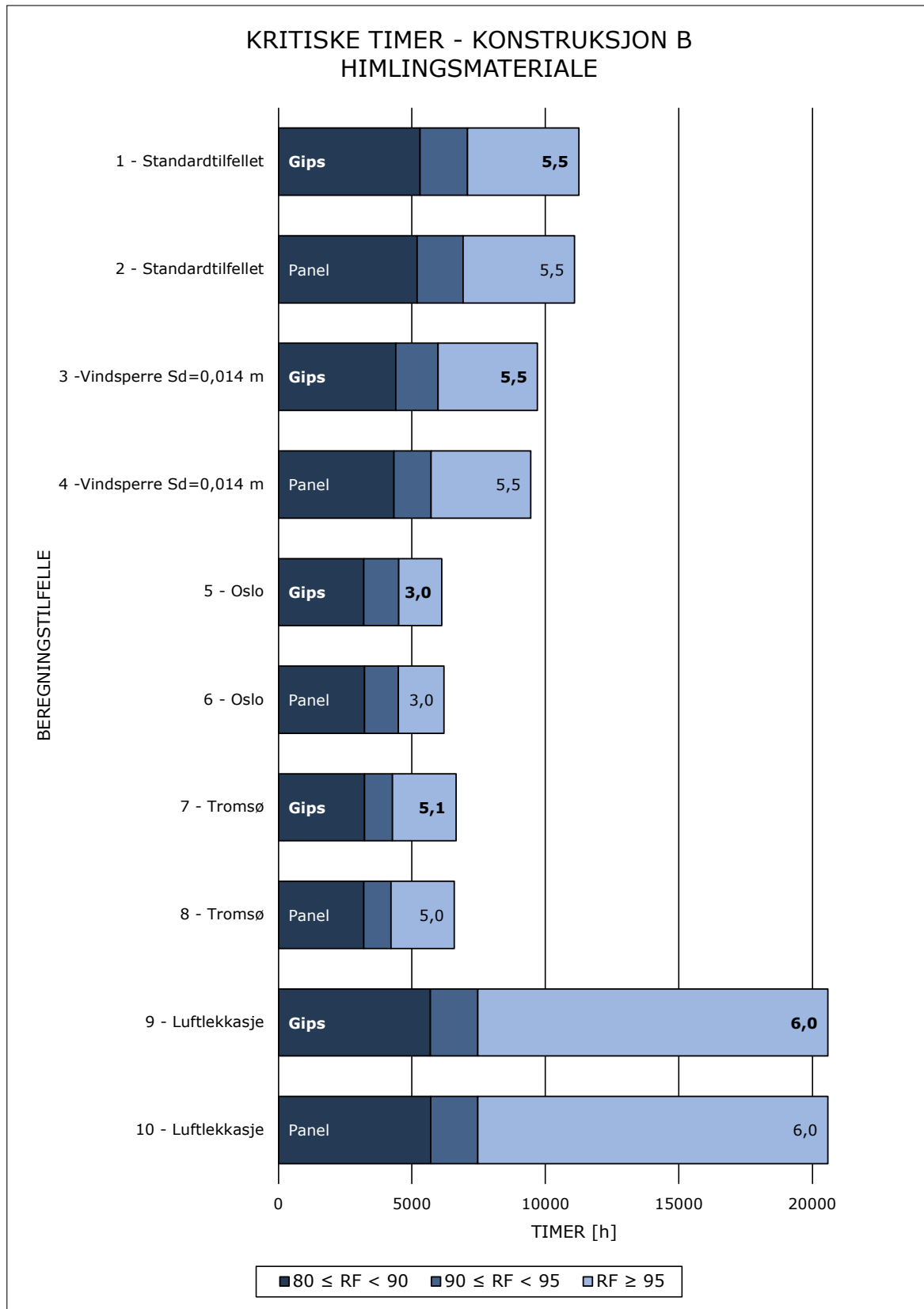
Figur 4.29: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i himlingsmaterialet for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



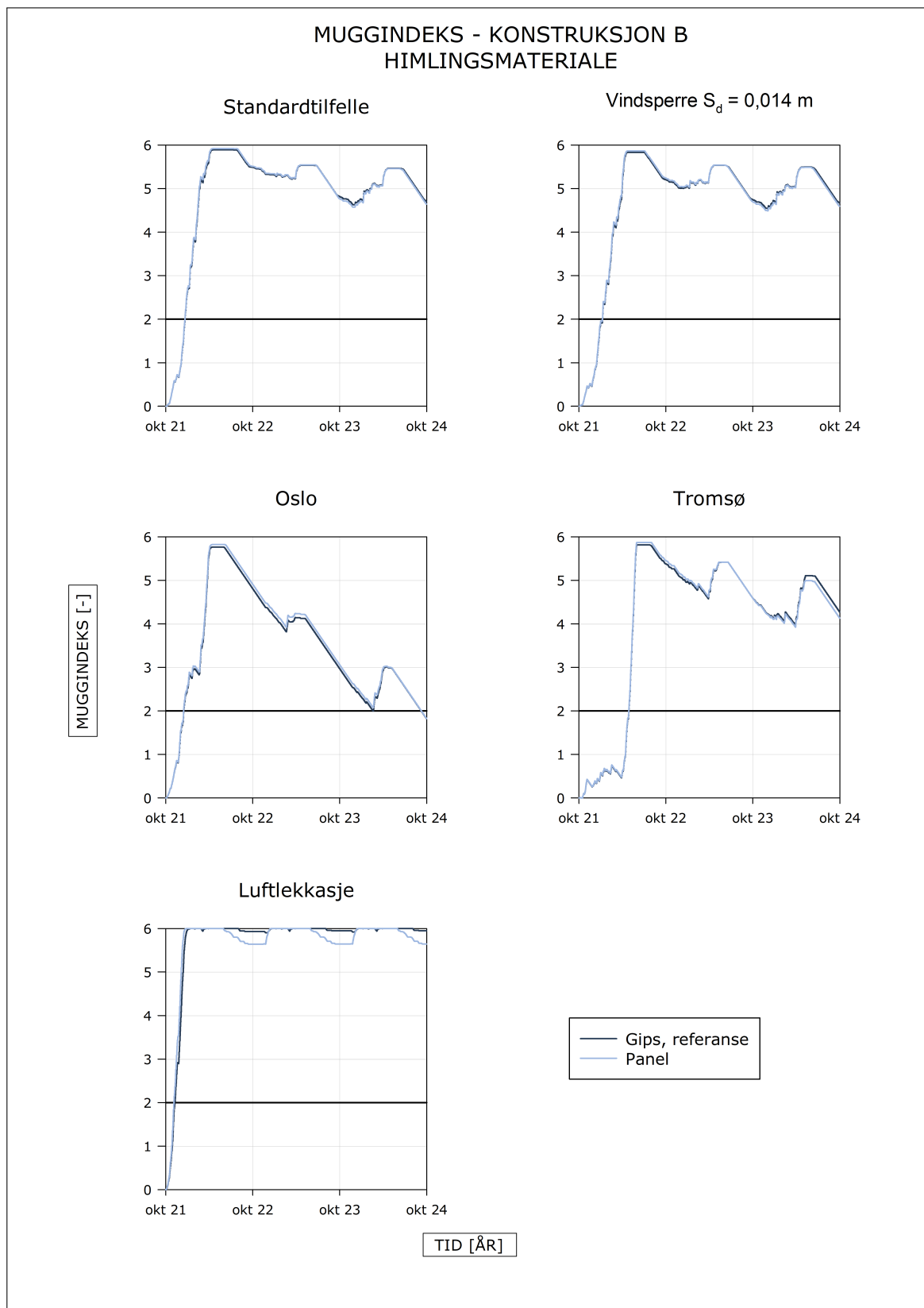
Figur 4.30: Utvikling i muggindeks for ulikt materiale i himlingen i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



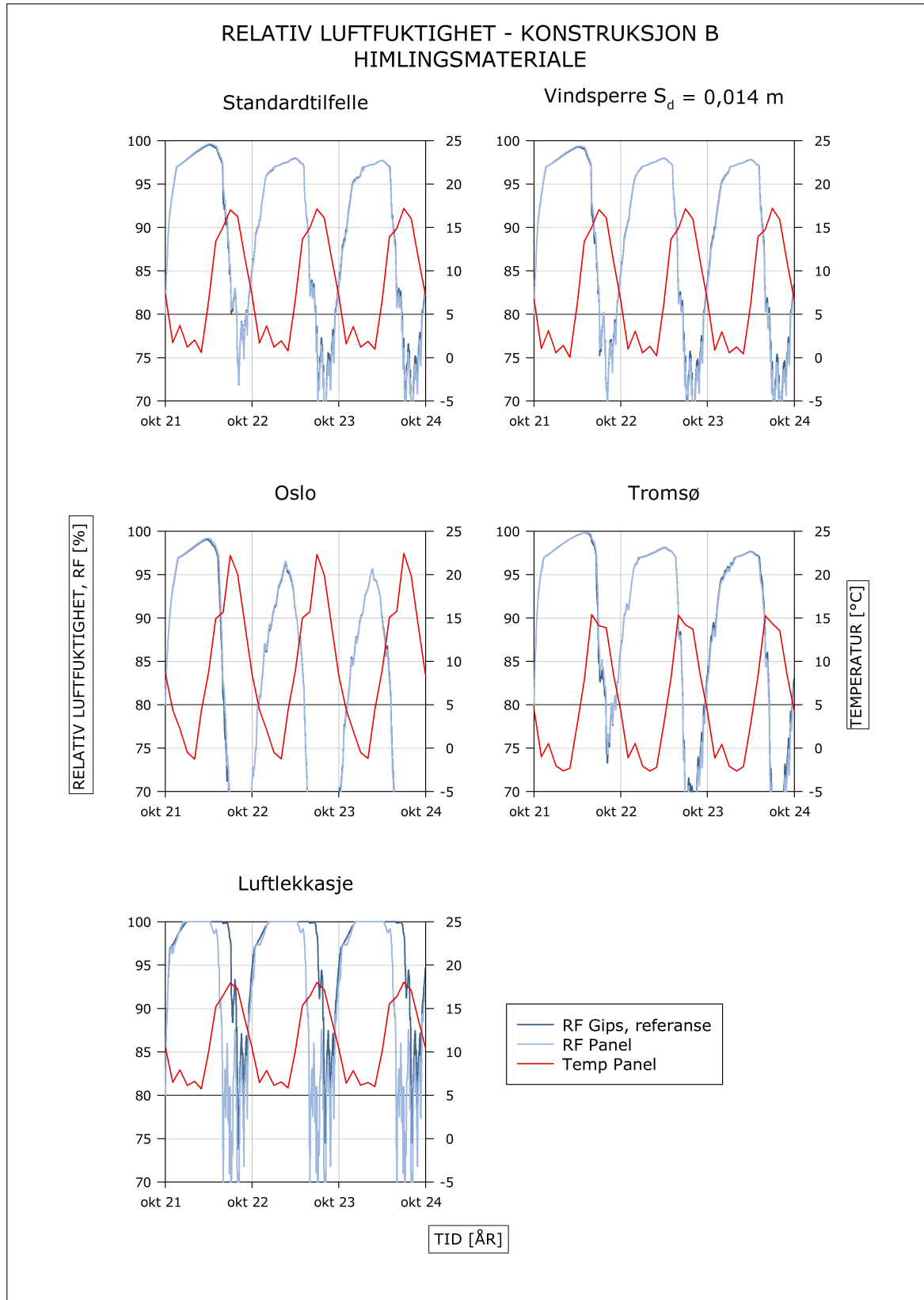
Figur 4.31: Utvikling i RF for ulikt materiale i himlingen i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.



Figur 4.32: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i himlingsmaterialet for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



Figur 4.33: Utvikling i muggindeks for ulikt materiale i himlingen i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.34: Utvikling i RF for ulikt materiale i himlingen i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.7 Vertikalt sperresjikt

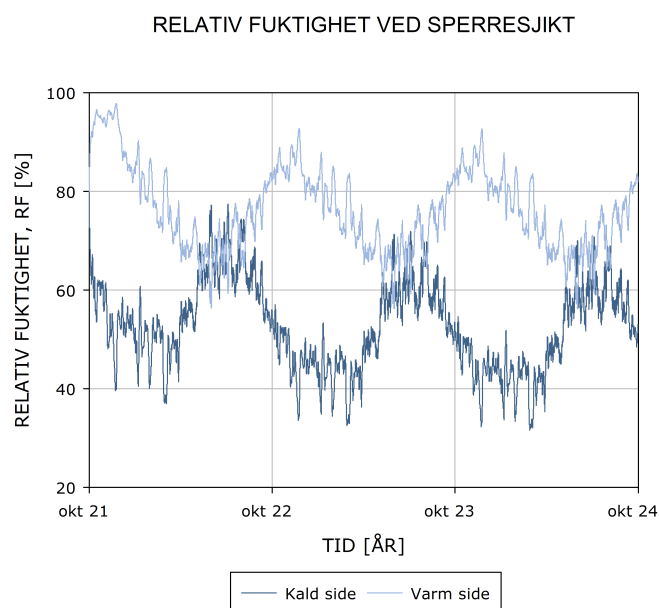
Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.8. Resultatene er gitt i figur 4.36-4.38 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

Konstruksjon A

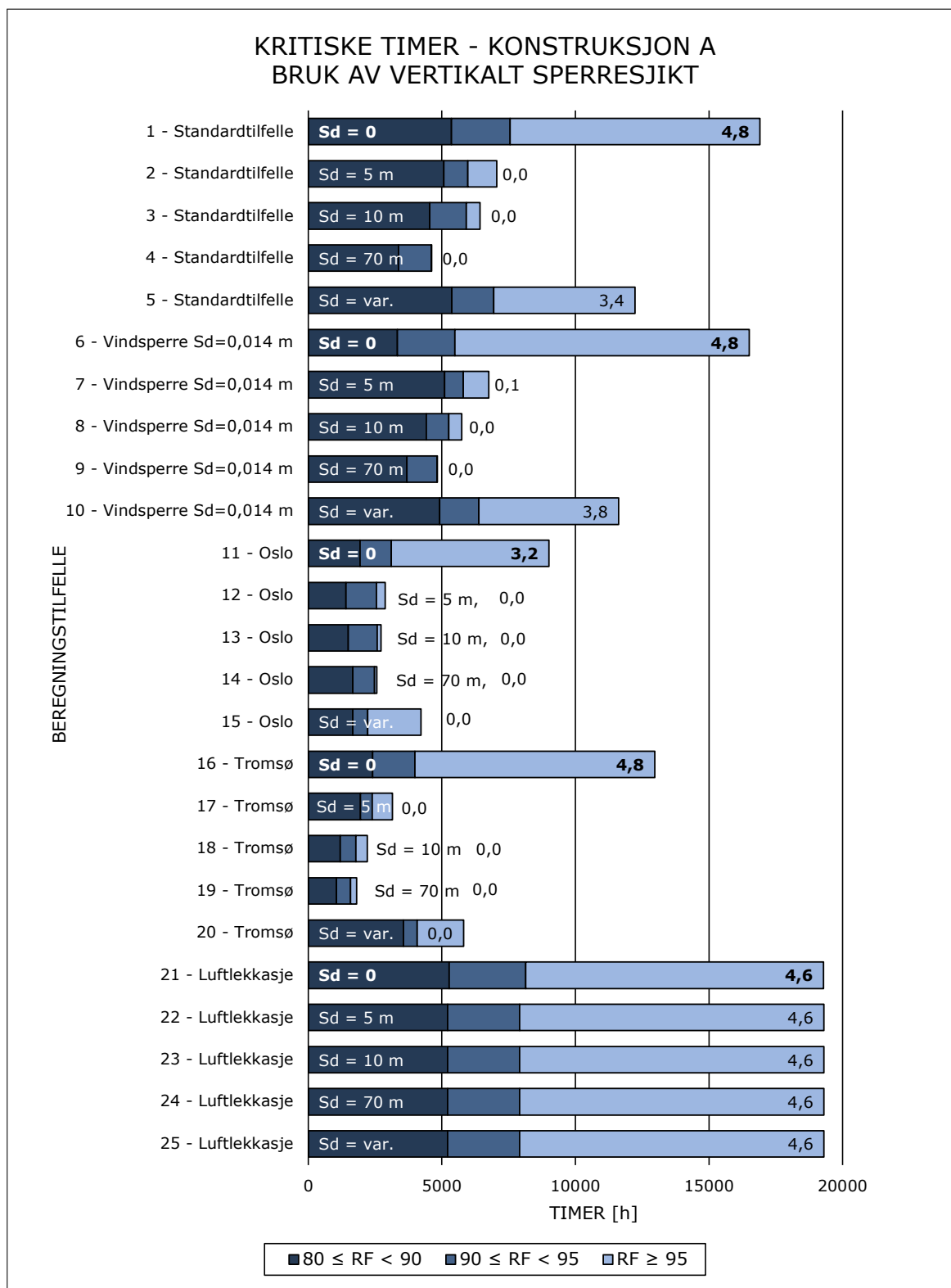
Bruk av vertikalt sperresjikt utgjør en tydelig forskjell i risiko for muggvekst. Figur 4.36 gir at en økning i dampmotstand gir en reduksjon i kritiske timer og følgelig muggindeks. Vertikalt sperresjikt med S_d -verdi = 5 m resulterer i akseptabel muggindeks i alle tilfeller, unntatt ved luftlekkasjer. En smart dampsperre fører til akseptabel muggvekst i både Tromsø og Oslo. Muggindeksen i figur 4.37 øker i takt med referansen frem mot våren for alle dampmotstander. Deretter får den en brå nedgang på sommeren. Dette skyldes trolig svært korte perioder med gunstige muggvekstforhold. Se figur 4.38.

De ulike dampmotstandene ser ut til å stabilisere seg under akseptabelt nivå for muggindeksen over tid. Etter tre år følger alle tilfellene, sett bort fra luftlekkasje, en synkende trend i muggindeksen eller har stabilisert seg på 0. Dette forårsakes trolig av at fuktig inneluft ikke når ut til kantbjelken på grunn av dampmotstanden den møter i sperresjiktet.

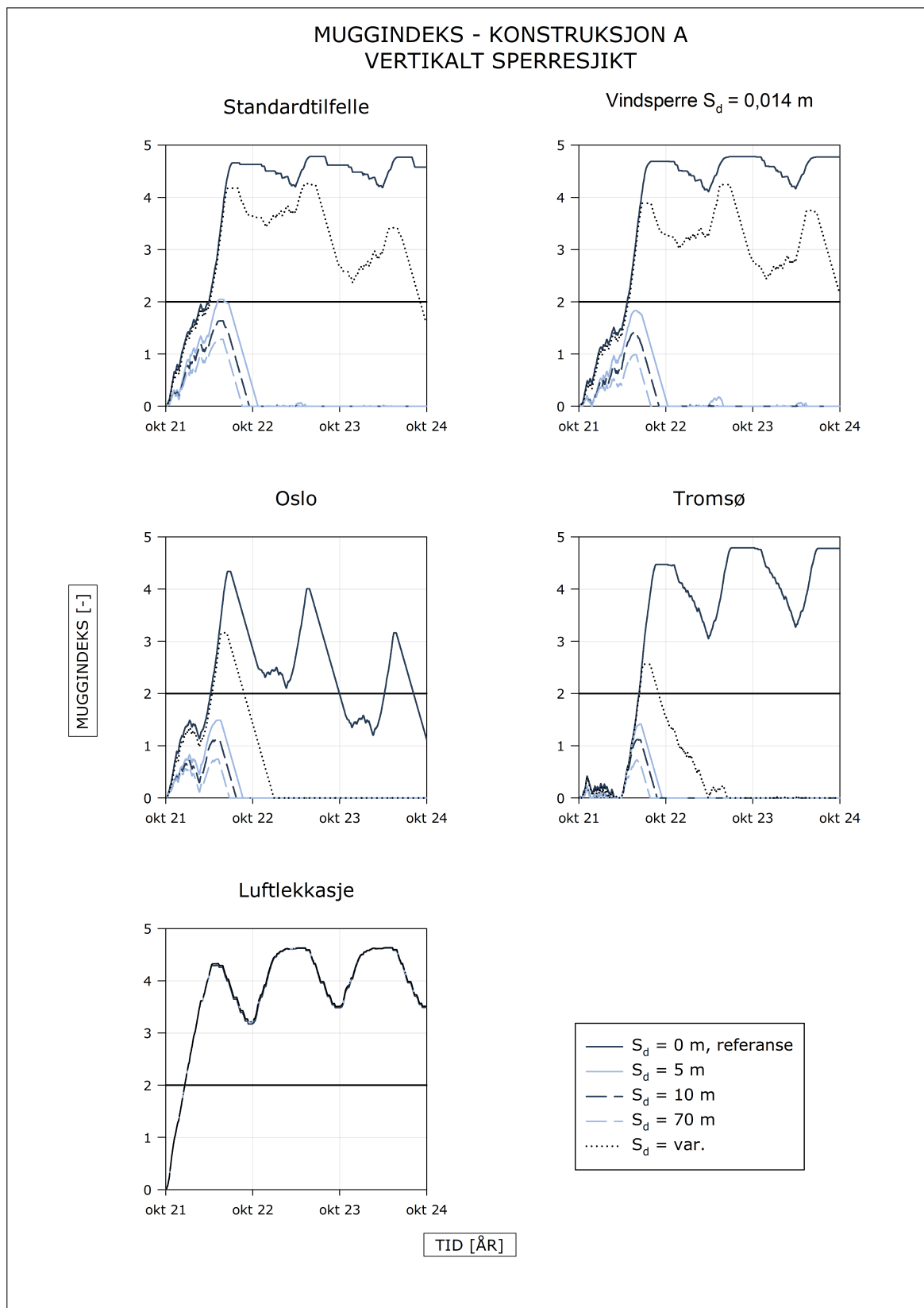
Risiko for kondens oppstår når inneluften møter et sjikt med stor dampmotstand og temperaturen er lav nok. Ut fra figur 4.35 ser vi at denne risikoen er høy på sperresjiktets varme side, med RF liggende mellom 90 og 100 % i enkelte perioder. På den kalde siden er ikke risikoen for kondens særlig stor, da RF aldri kryper over 80 %.



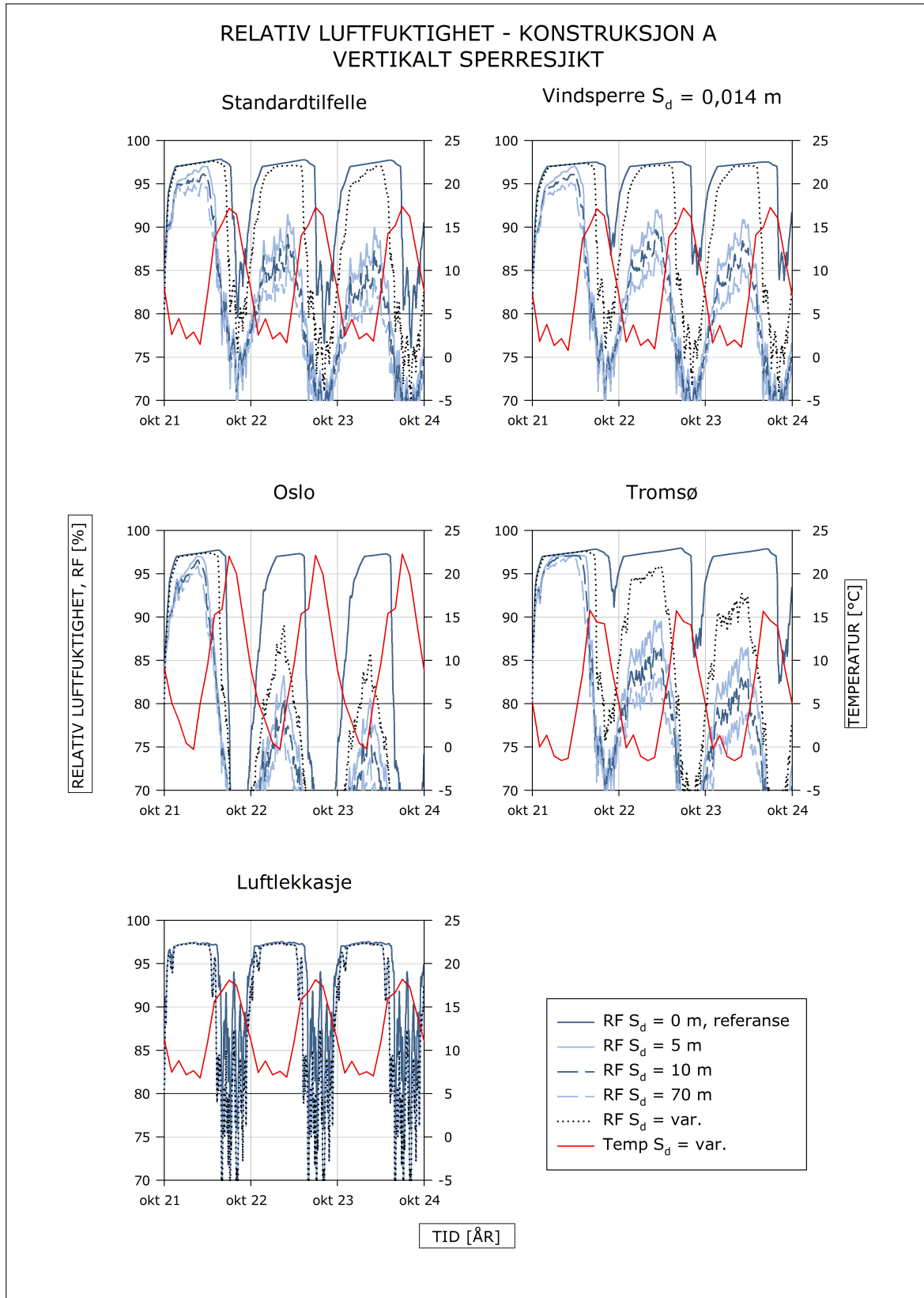
Figur 4.35: Utvikling i RF på sperresjiktets varme og kalde side. Verdiene er hentet fra sperresjiktet med S_d -verdi = 70 m i standardtilfellet.



Figur 4.36: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene ved bruk av ulike vertikale sperresjikt for konstruksjon A. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle.



Figur 4.37: Utvikling i muggindeks ved bruk av ulike vertikale sperresjikt i konstruksjon A. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.38: Utvikling i RF ved bruk av ulike vertikale sperresjikt i konstruksjon A. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.8 Materiale i kubbing

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.9. Resultatene er gitt i figur 4.39 – 4.41 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

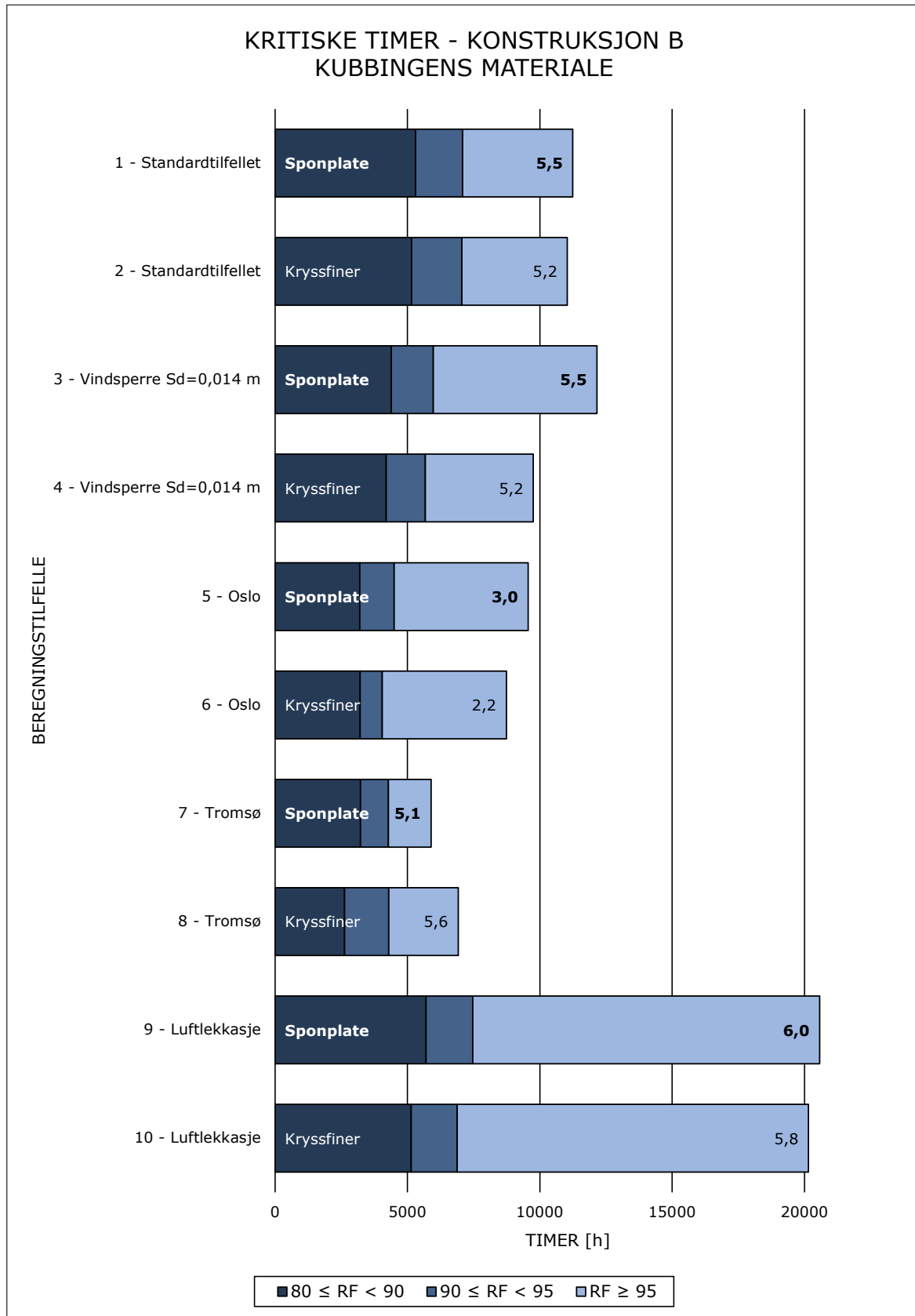
Konstruksjon B

Materialet i kubbingen ser ut til å ha en liten påvirkning på muggvekstrisikoen. Generelt resulterer bruk av kryssfiner i en redusert risiko for muggvekst, noe antall kritiske timer også gjør. Se figur 4.39. Dette gjelder alle tilfellene med unntak av Tromsø, hvor kryssfiner resulterer i en økt muggindeks og antall kritiske timer.

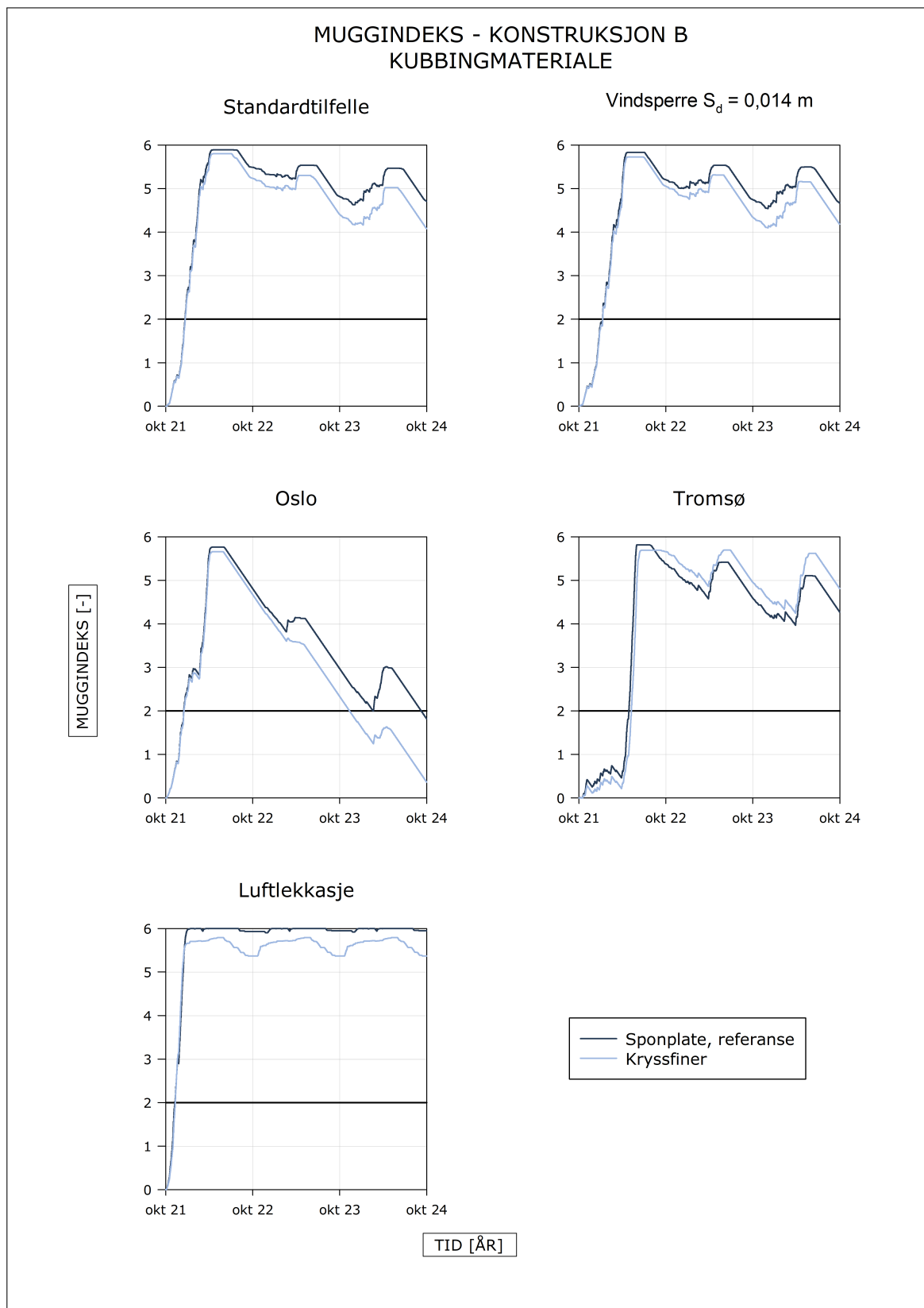
Figur 4.40 viser at muggindeksen følger samme trend for de to kubbingmaterialene. Det samme gjelder for RF i figur 4.41. Her følger kurvene samme mønster, men kurven for kryssfiner ligger noe lavere i alle tilfellene unntatt ved Tromsø som uteklime. Her ligger kurven høyere og når ikke RF under 80 % før det har gått to år.

Bruk av kryssfiner i kubbingen ser også ut til å ha en liten påvirkning ved luftlekkasjer. Forskjellen er ikke stor, men tydelig. Påvirkningen på muggindeksen kommer trolig av kubbingens vandampmotstand. Kryssfinerplaten som har en noe høyere S_d -verdi enn sponplaten, sørger for at mindre fuktighet fra inneluften trenger ut mot kantbjelken. Dette resulterer naturligvis i en lavere RF, og dårligere vekstbetingelser for mugg.

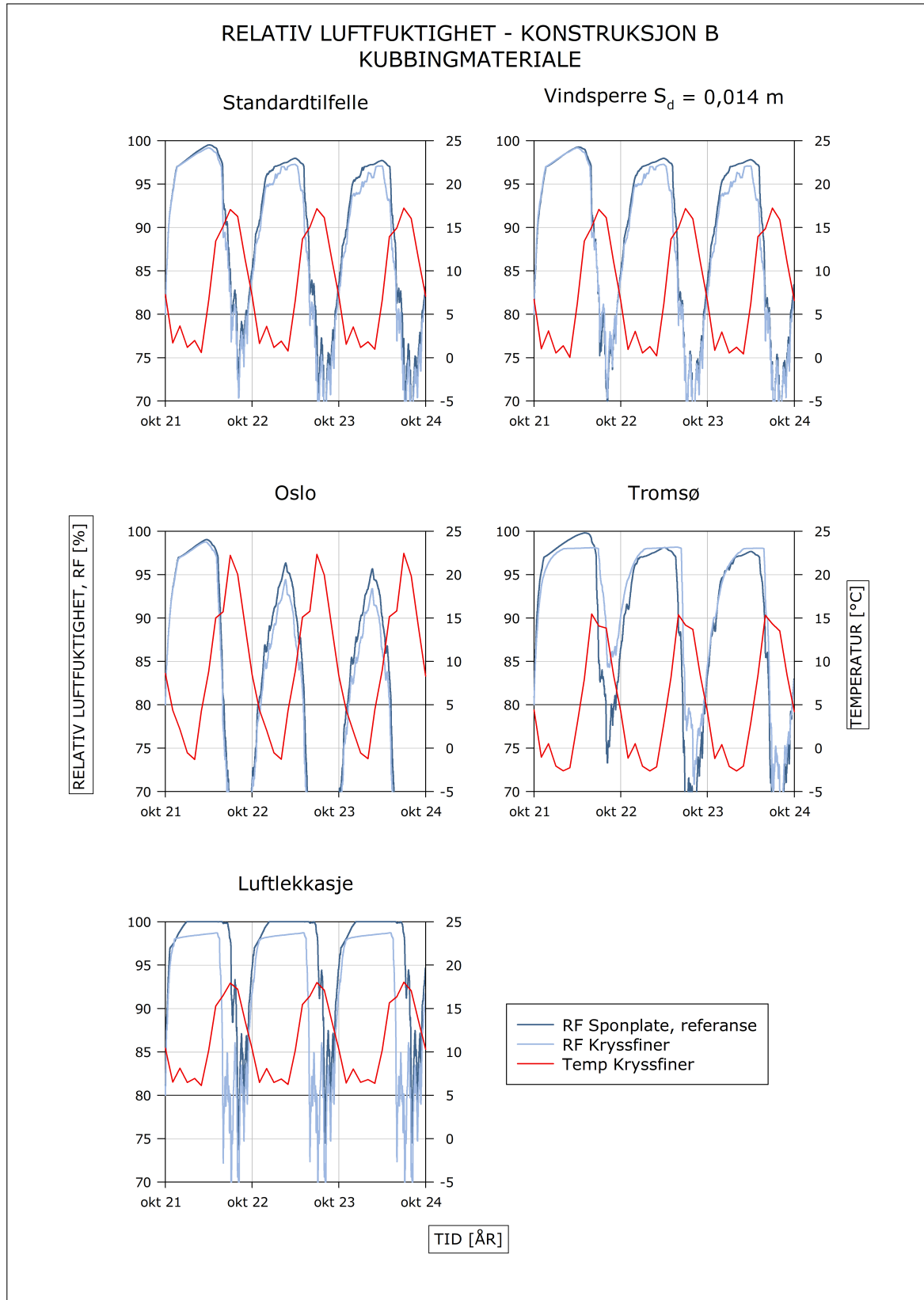
Den økte vandampdampmotstanden kan trolig være forklaringen på økt muggindeks i Tromsø. Ved å observere grafen i figur 4.41 ser ikke byggfukten ut til å få tørket ut før det andre året. Damptettheten i kryssfinerplaten hindrer trolig fuktigheten i å tørke raskt nok ut mot inneluften. Slik vil muggveksten opprettholdes i alle periodene hvor temperaturen ligger til rette for det. I de påfølgende årene ser RF ut til å øke noe høyere ved en mer damp tett kubbing. Dermed vil ikke muggindeksen synke nok til å legge seg på samme nivået som en mer dampåpen plate. Byggfukten ser ut til å tørke ut tidsnok i et varmere klima, som Trondheim og Oslo.



Figur 4.39: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i kubbingens materiale for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



Figur 4.40: Utvikling i muggindeks med variasjon i kubbings materiale for konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.41: Utvikling i RF med variasjon i kubbingens materiale i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

4.2.9 Kubbingens plassering

Beregningsforutsetningene er gitt i kapittel 3.2.5. Parameterne for hvert beregningstilfelle fremgår av tabell D.10. Resultatene er gitt i figur 4.42 – 4.44 for parametervariasjonene. Høyeste muggindeks for hvert år og fordeling av kritiske timer er gitt på tabellform i henholdsvis vedlegg E og F.

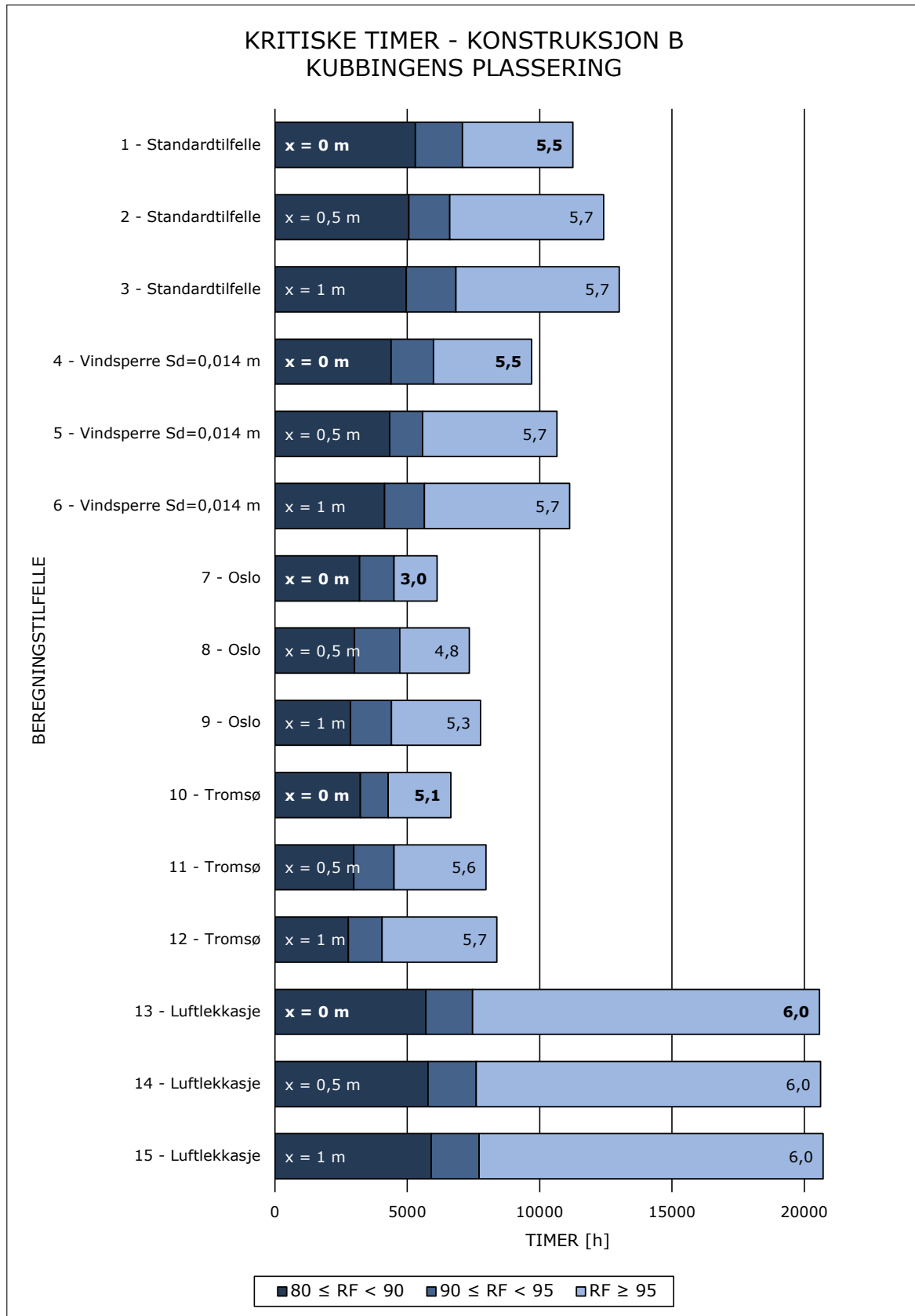
Konstruksjon B

Kubbingens plassering påvirker risikoen for muggindeks noe. Ved å øke avstanden fra veggen, observeres det en liten økning i høyeste muggindeks tredje året. Se figur 4.42. Dette kommer trolig fra den økte mengden kritiske timer med $RF \geq 95\%$.

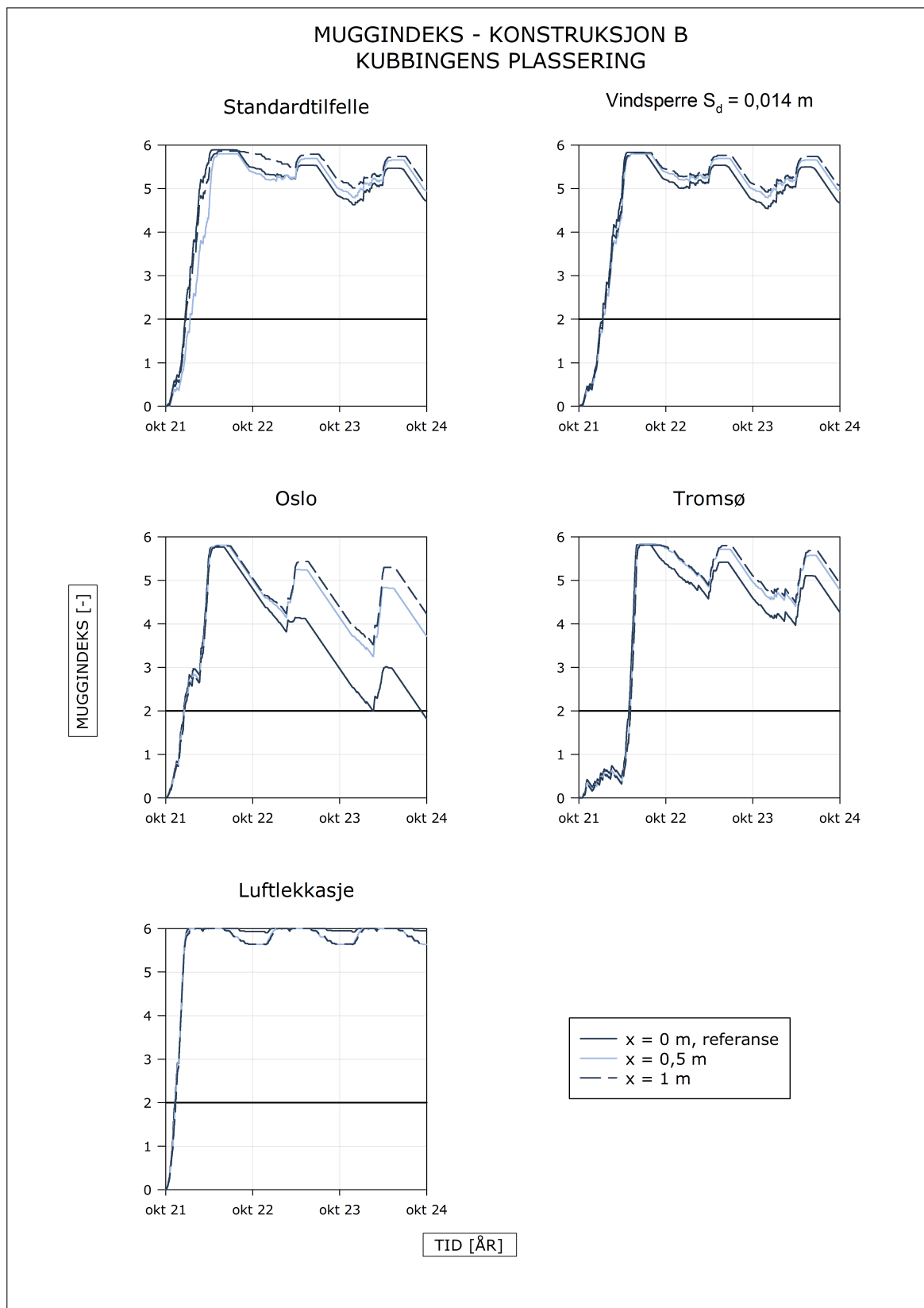
Muggindeksen følger samme trend for de ulike plasseringene og ligger noe høyere for de økte avstandene til kantbjelkeisolasjonen. Se figur 4.43. Det ser også ut som differansen øker mer for hvert år. Konveksjon kan ikke forklare differansen, da WUFI 2D ikke tar høyde for konveksjon i sine beregninger. Se tabell 2.6.

En økning i avstand mellom kantbjelkeisolasjonen og kubbingen resulterer i perioder med høyere RF. Se figur 4.44. Dette er trolig grunnen til flere kritiske timer for disse beregningstilfellene. RF holder trolig et høyere nivå grunnet økningen i volum mellom kantbjelken og kubbingen. Dette gjør at det her kan lagres større mengder fukt. Fukt trekker mot et lavere vanndamptrykk, og vil følgelig trekke mot kantbjelken som er kaldeste del av volumet.

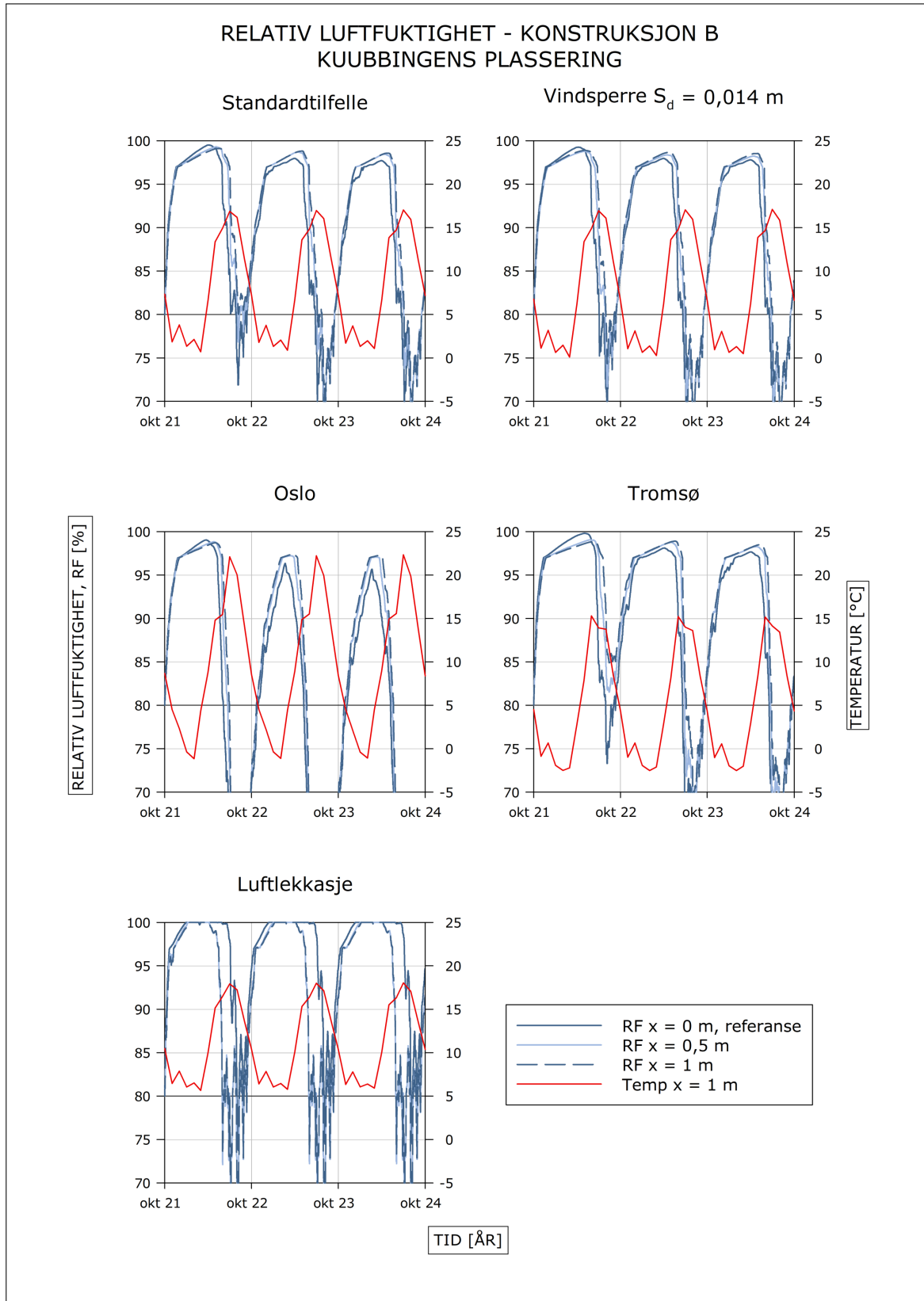
Ved en luftlekkasje rundt kantbjelken ser det ut som plasseringen ikke har noen påvirkning. Dette kan komme av at luftlekkasjen som simuleres ikke påvirkes av andre faktorer enn luftlekkasjens plassering. Luftsifte vil ikke fordele seg utover i bjelkelaget, da lekkasjen er simulert som et luftsifte med en spesifikk plassering. Det er derfor vanskelig å trekke noen konklusjoner på bakgrunn av den simulerte luftlekkasjen i dette tilfellet.



Figur 4.42: Fordeling av kritiske timer for de ulike beregningstilfellene med variasjon i kubbingens plassering for konstruksjon B. Den høyeste muggindeksen for det 3. året vises til høyre i hver søyle. Referansen er uthevet.



Figur 4.43: Utvikling i muggindeks med variasjon i kubbingens plassering i konstruksjon B. Høyeste akseptable muggindeks er markert med en svart referanselinje.



Figur 4.44: Utvikling i RF med variasjon i kubbingens plassering i konstruksjon B. Områder hvor RF og temperatur er over den svarte referanselinjen utgjør risiko for muggvekst.

Kapittel 5

Diskusjon

Denne hadde hadde som formål å undersøke hvordan en etasjeskiller kunne utføres så fuksikker som mulig i overgang til yttervegg mellom oppvarmede rom. Dette ble gjort med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken. Løsningene som brukes i dag har tilsynelatende ikke vært gode nok med tanke på vanndampdiffusjon og luftlekkasjer. For å undersøke dette nærmere, ble tre forskningsspørsmål formulert:

1. Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?
2. Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?
3. Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

Dette kapittelet diskuterer funnene fra kapittel 4 og knytter det opp mot det teoretiske rammeverket presentert i kapittel 2. I tillegg gis det anbefalinger om videre arbeid

5.1 Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken?

Bransjens erfaringer knyttet til fuktproblemer i kantbjelken er varierte. Enkelte aktører har registrert problemer, mens andre ikke har det. I tilfellene hvor problemer oppdages, observeres det rim og kondens på kantbjelkens innside under byggeperioden. Dette er avdekket både før og etter legging av isolasjon.

Intervjuene tyder på at problemene er avhengig av uteklima. Stedene hvor problemene er oppdaget, ligger i områder med høy RF. Informantene med størst problemer er også knyttet til områder med periodevis lite sol. I et tørrere uteklima, eksempelvis Oslo, er det ikke observert fuktproblemer i kantbjelken. Ingen har heller mottatt reklamasjoner knyttet til dette. Her møter de derimot større problemer i forbindelse med et altfor tørt inneklima om vinteren.

At observasjonene er knyttet opp mot RF virker logisk. Eksempelvis vil tørr uteluft bli enda tørrere når den trekkes inn og varmes opp. En informant informerer blant annet om inneluft med observert RF helt nede i 20 %. Naturligvis blir da også kantbjelken eksponert for et klima med lavere RF, og det vil ikke utfelles kondens. Se kapittel 2.3. Derav har ingen observasjoner blitt gjort i varmere og tørrere uteklima.

I tillegg vil områder med lite sol og lavere utetemperatur naturlig nok være utsatt fordi det fører til en kaldere veggkonstruksjon. Når vanndamp innenfra diffunderer ut i bjelkelaget, vil faren for kondens øke i takt med synkende temperatur i veggkonstruksjonen. Trolig vil duggpunktet befinne seg på kantbjelkens innside, hvor vanndampen møter en kald overflate med en viss dampmotstand. Dette er sannsynligvis bakgrunnen for observasjoner gjort i nordlige områder.

Det hersker enighet rundt det å avdekke eventuelle fuktproblemer i kantbjelken. Informantene nevner blant annet vanskeligheter knyttet til kantbjelkens plassering, som ligger inntil vindsperra på etasjeskillerens ytterkant. Følgelig er kantbjelken en konstruksjonsdel som sjelden blottlegges. Beboere eksponeres ikke for den, og derav følger det trolig heller ingen reklamasjoner ved potensielle problemer.

Det er tilstrekkelig grunnlag for å påstå at muggvekstrisiko i kantbjelken er et reelt problem. Selv om det ikke er problematisk over hele landet, er kantbjelken en utsatt konstruksjonsdel. Observasjoner av kondens i byggeperioden, også etter isolering, tyder på at kondens også kan oppstå etter byggeperioden. Hvis temperaturen i tillegg havner innenfor vekstbetingelsene for mugg, som fremgår av kapittel 2.4, vil det være risiko for muggvekst.

Informantene påpeker også at overgangen mellom etasjeskiller og yttervegg er en detalj som er vanskelig å få tilstrekkelig tett. Det er mange vinkler og utsparinger som må tettes. Her er selve utførelsen avgjørende for å få konstruksjonen tett nok. Risiko for luftlekkasjer er derfor stor. Dermed trekker inneluften potensielt lettere ut til kantbjelken, slik at muggvekstrisikoen øker.

5.2 Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken?

Parameterkombinasjonene som er undersøkt i denne studien påvirker muggvekstrisikoen i varierende grad. 135 parameterkombinasjoner er undersøkt, og et stort flertall av disse tyder på risiko for muggvekst. Resultatene avdekker parametere som er gunstige og ugunstige med hensyn til muggvekstrisiko.

Muggveksten blir påvirket av flere parametere. Naturligvis påvirkes muggvekstrisikoen av materialets sensitivitet for muggvekst, men andre parametere viser seg også å ha en vesentlig innvirkning. Samtidig viser enkelte parametere seg å ha minimal påvirkning. Parameternes presenteres i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Parameteres innvirkning på muggvekstrisiko.

Gunstig	Ugunstig
Kantbjelke lite sensitiv for muggvekst	Kantbjelke sensitiv for muggvekst
Dampåpen kantbjelke	Damp tett kantbjelke
Tørt uteklime	Fuktig uteklime
Inntrukket kantbjelke	Kaldt uteklime
Vertikalt sperresjikt	Lite sollys
Kubbing inntil kantisolasjon	Kubbing vekk fra kantisolasjon
Lokasjonsavhengig	Neglisjerbart
Kubbingens damp tetthet	Bjelkelagsisolasjon
	Himlingsmateriale
	Byggfukt

5.2.1 Gunstige parametere

De gunstige parameterne bidrar til lite fukttilskudd fra innelufta, samtidig som de reduserer uttørkingen av byggfukt. Parameterstudien avdekker flere parametere som bidrar til nettopp dette.

En dampåpen kantbjelke, eksempelvis en 18 mm OSB-plate, bidrar til redusert muggvekstrisiko. Ved å være så dampåpen, vil kantbjelken tillate fukt som når inn i bjelkelaget å diffundere gjennom kantbjelken. Dette forhindrer veldig høy RF i perioder hvor temperaturen er høy nok til å bidra til muggvekst.

Bruk av dampåpen kantbjelke bidrar ikke nødvendigvis til stor reduksjon i totalt antall kritiske timer, som vist i kapittel 4.2.2. Likevel oppnås lav muggindeks etter tre år. Dette kommer trolig som følge av svært korte, til ingen perioder, hvor kantbjelken er utsatt for kritiske timer med $RF \geq 95\%$. Det er i nettopp dette området muggindeksen ser ut til å øke vesentlig. Dette bekrefter bemerkningene i kapittel 2.4 som beskriver 95 – 98 % RF som de optimale fuktnivåene for muggvekst.

Ved å trekke kantbjelken inn 5 cm, reduseres også risikoen for muggvekst betraktelig. Dette bekrefter observasjonene presentert i intervjuene i kapittel 4.1.2; En informant observerte en bedring etter å ha trukket inn kantbjelken. Resultatene i kapittel 4.2.4 indikerer det samme. En plassering nærmere varm side bidrar til å beskytte kantbjelken bedre

mot uteklimaet. På denne måten holder innsiden av kantbjelken en høyere temperatur gjennom året, og medfører lavere RF for luften i møte med kantbjelken. Slik holdes RF på et lavere nivå, og gode muggvekstbetingelser unngås.

Den økte temperaturen kan intuitivt tenkes å medvirke til hurtigere muggvekst. Som nevnt i kapittel 3.2.3, bidrar høyere temperatur til hurtigere muggvekst. Resultatene indikerer derimot at muggveksten reduseres. Dette er trolig fordi $RF \geq 95\%$ er nødvendig for en vesentlig muggvekst. Ved at kantbjelkens innside blir noe varmere, holdes RF lav nok ved høyere temperaturer til at muggindeksen ikke øker i noen særlig grad.

Et vertikalt sperresjikt i kantisolasjonen bidrar til en betydelig reduksjon i muggvekstrisiko. Antall kritiske timer reduseres i takt med at S_d -verdien øker. Dette kommer naturligvis som en følge av at fuktig inneluft ikke når ut til kantbjelken. RF ute ved kantbjelken holdes lav, som igjen gir dårlige muggvekstbetingelser.

Plassering av et vertikalt sperresjikt vil føre til nye utfordringer. Som vist i figur 3.9, er halvparten av isolasjonen plassert på sperresjiktets innside, og isolasjonen på innsiden bør ikke overstige 1/4 av total isolasjonsmengde. Overstiges denne grensen, oppstår det kondensrisiko på varm side av sperresjiktet. Se kapittel 2.2. Samtidig er det viktig å passe på at byggfukt ikke stenges inne mellom kantbjelken og sperresjiktet. Resultatene i figur 4.35 viser at varm side av sperresjiktet med S_d -verdi = 70 m risikerer kondens ved RF periodevis tett opp mot 100 %. Det oppstår ingen risiko på kald side.

For å få bukt med kondensrisikoen, kan det være lurt å benytte et mer dampåpent sperresjikt og plassere det mellom kantisolasjonen og bjelkelagsisolasjonen. Slik vil overflatetemperaturen til sperresjiktet øke, og kondensfaren synker. Kondensfaren er kun undersøkt for det mest damptette materialet, og et sperresjikt med lavere dampmotstand vil antakeligvis også føre til en redusert kondensrisiko.

Som nevnt i intervjuene i kapittel 4.1.4, er overgangen mellom etasjeskiller og yttervegg utfordrende å få tilstrekkelig tett. Det er svært sannsynlig at utførelsen ikke er perfekt. Slik vil risikoen for luftlekkasjer ut mot kantbjelken øke. Disse utfordringene gjelder selvfølgelig også for et vertikalt sperresjikt. Det er ingen garanti for at dette blir tilstrekkelig tett, hvilket er forutsatt i simuleringene. Ved simulerte luftlekkasjer viser det seg at et vertikalt sperresjikt ikke vil ha noen effekt. Derfor er perfekt utførelse særdeles viktig for at et vertikalt sperresjikt skal ha en positiv effekt, slik som resultatene indikerer.

Materialet i kubbingen påvirker også muggvekstrisikoen. På sikt gir et mer damptett materiale en lavere fuktpåkjenning mot kantbjelken. Dette medfører færre kritiske timer, med følgelig lavere muggindeks. Forklaringen er den samme som for vertikalt sperresjikt. I et kaldere uteklima, eksempelvis Tromsø, vil likevel muggvekstrisikoen øke noe. Dette forårsakes trolig av lengre uttørkingstid for byggfukt. I tillegg fører den økte vanndampmotstanden til at tilført fuktighet ikke tørker ut like mye som ved en lavere vanndampmotstand. Valg av kubbingmateriale bør derfor vurderes avhengig av lokasjon og uteklima.

Oslo som uteklime gir en vesentlig lavere risiko for muggvekst enn de andre uteklimeene som er undersøkt. Dette kommer som følge av et tørrere og varmere uteklime. I simuleringene blir fuktpåkjenningene innenfra høyere ved lavere utetemperaturer. Se figur 3.4. Selv om muggindeksen stiger en del gjennom sommeren, vil reduksjonen være såpass mye større gjennom vinteren at muggindeksen følger en negativ trend. Dette bekrefter også observasjoner gjort av informantene i kapittel 4.1.2. I områder med tørt og varmt uteklime, er det ikke avdekket fuktproblemer i kantbjelken.

5.2.2 Ugunstige parametere

Parameterstudien avdekker flere forverrende faktorer med hensyn til muggvekstrisiko. Damptette og muggvekstsensitive materialer, som spon- og kryssfinerplate, i kantbjelken bidrar negativt. Det samme gjelder et kaldt og fuktig uteklime. Disse faktorene fører til økt RF på kantbjelkens innside og gode muggvekstbetingelser. Ved fravær av sollys forsterkes effekten enda mer.

Som nevnt tidligere er vanndampmotstanden i kantbjelken svært avgjørende. En høyere vanndampmotstand medfører et høyere antall kritiske timer for kantbjelkens innside, og da spesielt kritiske timer hvor $RF \geq 95\%$. Dersom kantbjelken har en høy nok vanndampmotstand og en lavere temperatur enn den fuktholdige luften som trenger inn i bjelkelaget, vil følgelig RF øke. Se kapittel 2.3. Hvis temperaturen øker videre til over $5\text{ }^\circ\text{C}$, vil det foreligge svært gunstige vilkår for muggvekst. Derfor er det ønskelig å unngå damptette kantbjelker ved bygging av etasjeskillere i trebjelkelag.

Et fuktig og kjølig uteklime bidrar til økt muggvekstrisiko. Som vist i figur 3.4, bidrar en redusert temperatur til økt innvendig fuktpåkjenning. Dette bidrar videre til at mer fukt trer opp i bjelkelaget. Kantbjelken har her også en lavere overflatetemperatur hvilket medfører at fuktighet lettere kondenserer i møte med kantbjelkens innside. Effekten forsterkes av lite sollys. Det er forsøkt å legge til rette for dette ved å bruke en nordvendt vegg i simuleringene, men det har trolig fortsatt en virkning.

5.2.3 Liten påvirkning

Av de belyste parametervariasjonene, er det tre større parameterendringer som ikke påvirker muggvekstrisikoen i vesentlig grad. Dette er variasjon i bjelkelagets isolasjonstykkelse, valg av himlingsmateriale og startverdi for byggfukt i simuleringene.

Effekten av bjelkelagets isolasjonstykkelse ser ut til å bli neglisjert av kantisolasjonen. Antakeligvis fører 300 mm på innsiden av kantbjelken til at en endring i bjelkelagets isolasjonstykkelse vil ha svært liten påvirkning på både temperatur og fukttransport.

Materialet i himlingen ser også ut til å gi liten effekt. Trolig er det forårsaket av at den lille endringen i himlingens S_d -verdi neglisjeres av mineralullen, som også har en viss vanndampmotstand. Samtidig kommer det frem av figur 4.40 at det ikke har noen effekt ved bruk av kubbing. Vanndampmotstanden i kubbingen stopper trolig den økte fuktigheten som slipper gjennom et mer dampåpent himlingsmateriale.

Videre er det tydelig at byggfukten har redusert påvirkning på sikt. Byggfukten ser ut til å ha effekt de første par årene, men muggindeksen ser ut til å innjustere seg etter ca. tre år. Deretter ser ikke byggfukten ut til å påvirke muggindeksen i noen vesentlig grad.

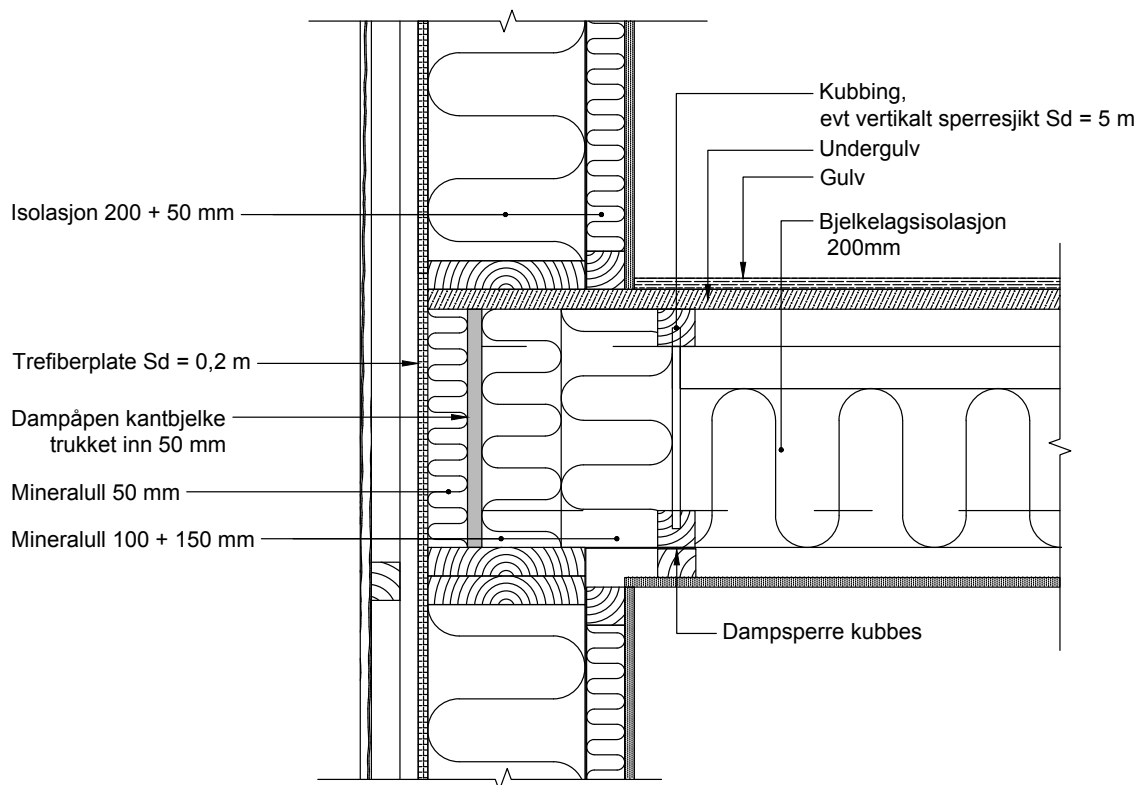
5.3 Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

For å unngå risiko for muggvekst i kantbjelken er det nødvendig å forhindre at fukt trekker ut mot kantbjelken, samtidig som konstruksjonen har uttørkingsmuligheter. Som nevnt i forrige delkapittel kan flere faktorer bidra til dette. Få av disse bidrar alene til lav nok muggvekstrisiko, og derfor er det nødvendig å tilrettelegge for flere av de gunstige faktorene. Summen av positive tiltak vil trolig bidra til å redusere muggindeksen til et akseptabelt nivå.

En gunstig konstruksjonsløsning oppnås ved å gjøre tilpasninger til konstruksjonene som bidrar til forhold nevnt i forrige avsnitt. Ved å trekke kantbjelken inn mot varm side, og samtidig benytte et dampåpent materiale i kantbjelken, vil muggvekstrisikoen trolig reduseres betraktelig. Dersom en dampbremsende kubbing plasseres inntil kantisolasjonen eller et vertikalt sperresjikt med en dampbremsende effekt, vil tilstrekkelig lav muggindeks trolig oppnås. Det dampbremsende sjiktet bør ikke ha for høy dampmotstand, da dette kan forårsake kondensrisiko ved plassering halvveis inn i kantisolasjonen. Et eksempel på en fuktsikker konstruksjon er presentert i figur 5.1.

Gjennom denne studien er ikke muggvekstrisikoen undersøkt i tilpassede detaljløsninger. Det er likevel gjennomført nok simuleringer til å anta enkelte premisser som bør legges til grunn ved utarbeidelse av en fuktsikker detalj.

Det er verdt å merke seg at andre bygningsfysiske faktorer ikke er belyst i de nevnte antakelsene. Praktisk gjennomførbarhet, og effekt på varmetap, er ikke vurdert. De nevnte tiltakene gjelder også for en perfekt utførelse, og forutsetter en tett konstruksjon som modellen i WUFI 2D. Likevel tyder undersøkelsene på at ingen av disse tiltakene forverrer situasjonen ved luftlekkasje bak kantbjelken.



Figur 5.1: Forslag til fuktsikker konstruksjon. Overgang etasjeskiller med trebjelkelag og yttervegg. Eksempel er fra bjelkelag med I-profiler.

5.4 Videre arbeid

Resultatene i denne studien viser at fuktutfordringer knyttet til kantbjelken er reelle. Derfor vil det være interessant å undersøke problemstillingen ytterligere. En mulighet er grundigere undersøkelser av hvor omfattende problemet er, ved å samle inn data fra langt flere aktører.

Videre vil det også være spennende å se nærmere på undersøkelser av detaljen som er utarbeidet gjennom studien. Det har ikke blitt gjort noen konkrete beregninger av den anbefalte konstruksjonen. Hvordan en slik konstruksjon oppfører seg i ulike klima vil være svært interessant å utforske. Da vil det være mulig å se om det bør gjøres videre tilpasninger av konstruksjonen, eller om den kun trenger tilpasninger i enkelte uteklima. Den praktiske anvendbarheten ved å bygge en slik konstruksjon bør også belyses.

Kapittel 6

Konklusjon

Denne studien hadde som formål å undersøke hvordan en etasjeskiller, mellom oppvarmede rom, kunne utføres så fuktsikker som mulig i overgang til yttervegg. Dette ble gjort med hensyn til reduksjon av muggvekstrisiko i kantbjelken. Løsningene som brukes i dag har tilsynelatende ikke vært gode nok med tanke på vandampdiffusjon og luftlekkasjer. For å belyse problemstillingen ble følgende forskningsspørsmål formulert: (1) Hvilke erfaringer har bransjen knyttet til fuktproblemer i kantbjelken? (2) Hvilke parameterkombinasjoner endrer i størst grad risiko for muggvekst i kantbjelken? (3) Hvilke detaljløsninger gir lavest risiko for muggvekst i kantbjelken?

Forskningsspørsmålene ble besvart med bakgrunn i 7 semistrukturerte dybdeintervjuer og 135 datasimuleringer i WUFI 2D, samt beregning av muggindeks i WUFI Mould Index VTT. Intervjuene ble brukt til å kartlegge aktuelle data for å belyse problemstillingen, samtidig som erfaringer fra bransjen ble utforsket. To konstruksjoner ble utarbeidet basert på intervjuene, og ble videre analysert for å vurdere kantbjelkens muggvekstrisiko.

Resultatene tyder på at muggvekstrisikoen i kantbjelken er reell. Observasjoner hos informanter indikerer kondensproblemer knyttet til fuktig og kaldt uteklima, men ikke til et tørt og varmt uteklima. Videre bekreftes vanskeligheten med å oppdage eventuelle fuktproblemer grunnet konstruksjonsdelens utilgjengelighet. Dette indikerer trolig at ikke alle problemer avdekkes. Simuleringene bekrefter informantenes observasjoner og tyder på muggvekstrisiko i de fleste beregningstilfellene. Årsaken er perioder med $RF \geq 95\%$ som oppstår i kalde perioder, og medfører muggvekst når det blir varmere.

Studien har bidratt til forslag til en forbedret detalj. For å bygge en konstruksjon med lav muggvekstrisiko, er det viktig å redusere fukttilførsel ut mot kantbjelken, samtidig som fukt i konstruksjonen har muligheter for uttørking. Dette oppnås ved å kombinere flere tilpasninger. Bruk av dampåpen kantbjelke som trekkes inn 5 cm, kombinert med et dampbremsende sjikt på kantisolasjonens varme side, ansees som en god løsning. Slik vil muggindeksen trolig havne under akseptabel innenfor innen rimelig tid.

Referanser

- Becher, R. *et al.* (2016) *Fukt og fuktskader i norske boliger*. Oslo: Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/publ/2016/fukt-og-fuktskader-i-norske-boliger/> (Hentet: 5. juni 2021).
- Betongelementforeningen (2008) *Betongelementboken - Bind E - Isolasjon, varme og lyd*. 2. utg. Oslo: Betongelementforeningen.
- Blom, P. og Uvsløkk, S. (2012) *Bygg tett - og ventiler rett!*
- Bloomberg, L. D. og Volpe, M. (2008) *Completing Your Qualitative Dissertation A Roadmap From Beginning to End*. London: SAGE.
- Curtin, M. og Fossey, E. (2007) Appraising the trustworthiness of qualitative studies: Guidelines for occupational therapists. I: *Australian Occupational Therapy Journal*, 54.2, s. 88–94. Tilgjengelig fra: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1440-1630.2007.00661.x> (Hentet: 13. november 2020).
- Dahlum, S. (2020) *Validitet*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/validitet> (Hentet: 13. november 2020).
- Dalland, O. (2012) *Metode og oppgaveskriving*. 5. utgave. Oslo: Gyldendal.
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2014) *Håndbok 5 Trehus*. 10. utg. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Engen, A. U. (2020) *Lufttetthet i klemte vindspærreskjøter og fuktteknisk analyse av trebjelkelagets kantbjelke*. Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Geving, S. (2016) *Introduksjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.wufi.no/Introduksjon.php3> (Hentet: 22. mars 2021).
- Geving, S. og Holme, J. (2010) *Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft*. (53). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Geving, S. og Holme, J. (2012) Mean and diurnal indoor air humidity loads in residential buildings. I: *Journal of Building Physics*, 35.4. Publisher: SAGE Publications Ltd STM, s. 392–421. doi: 10.1177/1744259111423084.
- Geving, S. og Thue, J. V. (2002) *Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

- Guba, E. G. og Lincoln, Y. S. (1989) *Fourth Generation Evaluation*. London: SAGE.
- Hanssen-Bauer, I. *et al.* (2016) *Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. (NKSS-rapport 2/2015). Oslo: NKSS. Tilgjengelig fra: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100/_attachment/10990?_ts=159d5ffcfd (Hentet: 21. januar 2021).
- Hensen, J. L. M. og Lamberts, R. (2012) *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Routledge.
- Hukka, A. og Viitanen, H. (1999) A mathematical model of mould growth on wooden material. I: *Wood Science and Technology*, 33.6, s. 475–485. doi: 10.1007/s002260050131.
- Haandlykken, E. D. og Skanke, H. (2020) *Digital Tvilling: En bestilling til besvær? - Bestilling av digital tvilling for bruk i driftsfase*. Prosjektoppgave. Trondheim: NTNU.
- Kempton, L., Kokogiannakis, G. og Cooper, P. (2021) Mould risk evaluations in residential buildings via site audits and longitudinal monitoring. I: *Building and Environment*, 191, s. 107584. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107584.
- Kvale, S. (2007) *Doing Interviews*. London: SAGE.
- Künzel, H. M. (1995) *Simultaneous heat and moisture transport in building components: one- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Ph.d.-avh. Stuttgart: IRB Verlag.
- Larsen, Ø. S. (2019) *Krymping trevirke*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/krymping_-_trevirke (Hentet: 4. juni 2021).
- Levy, F. E. S. (2019) *Muggsopp*. Tilgjengelig fra: <http://sml.snl.no/muggsopp> (Hentet: 15. februar 2021).
- Miljødirektoratet (2019) *Klimatilpasning av bygg og anlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/klimatilpasning/klimatilpasning-i-sektorer/bygg-og-anlegg/> (Hentet: 21. januar 2021).
- Norges hus (2020) *Norges hus utvikler verktøykasse for klimatilpasning av boliger*. Tilgjengelig fra: <https://norges-hus.no/no/presse/norges-hus+utvikler+verktoykasse+for+klimatilpasning+av+boliger.html> (Hentet: 16. mars 2021).
- Ojanen, T., Viitanen, H. og Peuhkuri, R. (2007) Modelling of mould growth in building envelopes. *IEA-Annex Meeting Porto*.
- Ojanen, T. *et al.* (2011) Classification of material sensitivity New approach for mould growth modeling. *Proceedings 9th Nordic Symposium on Building Physics NSB 2011*. Tampere: Tampere University of Technology, 29 May - 2 June 2011, s. 867–874.
- Patton, M. Q. (2014) *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice*. London: SAGE.

-
- Peat, J.K., Dickerson, J. og Li, J. (2007) Effects of damp and mould in the home on respiratory health: a review of the literature. I: *Allergy*, 53.2, s. 120–128. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.1998.tb03859.x>.
- Pedersen, B. (2019) *Diffusjon*. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/diffusjon> (Hentet: 23. mars 2021).
- Relander, T.-O. *et al.* (2011) The influence of structural floors on the airtightness of wood-frame houses. I: *Energy and Buildings*, 43.2, s. 639–652. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.11.005.
- SINTEF Community (2003) *573.430 Materialdata for vanndamptransport*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/606/materialdata_for_vanndamptransport (Hentet: 15. januar 2021).
- SINTEF Community (2005) *701.401 Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimate*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3231/muggsopp_i_bygninger_forekomst_og_konsekvenser_for_inneklimate (Hentet: 15. januar 2021).
- SINTEF Community (2008) *522.355 Etasjeskiller med trebjelkelag. Varmeisolering og tetting*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/335/etasjeskiller_med_trebjelkelag_varmeisolering_og_tetting (Hentet: 4. juni 2021).
- SINTEF Community (2011) *522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse (Hentet: 31. mai 2021).
- SINTEF Community (2015) *571.523 Trevirke. Treslag og materialeegenskaper*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper (Hentet: 20. januar 2021).
- SINTEF Community (2016) *571.046 Sponplater. Typer og egenskaper*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3047/sponplater_typer_og_egenskaper (Hentet: 5. februar 2021).
- SINTEF Community (2017) *571.049 Kryssfinerplater. Typer og egenskaper*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/572/kryssfinerplater_typer_og_egenskaper (Hentet: 5. februar 2021).
- SINTEF Community (2018) *421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag (Hentet: 15. januar 2021).
- SINTEF Community (2020) *523.255 Yttervegger av bindingsverk. Varmeisolering og tetting*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/361/yttervegger_av_bindingsverk_varmeisolering_og_tetting (Hentet: 4. februar 2021).
-

- Sletfjerding, E. B. (2019) *Smart vapour barriers in compact timber-framed roofs - Parameter analysis and field measurements*. Ph.d.-avh. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2621273> (Hentet: 19. januar 2021).
- TEK17 (2017) *Byggeteknisk forskrift (TEK17)*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-14/> (Hentet: 4. juni 2021).
- Thue, J. V. (2016) *Bygningsfysikk - Grunnlag*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Thue, J. V. og Oustad, M. (2007) *WUFI 1D Pro 4.1 Brukermanual*.
- Time, B. et al. (2008) *Tak basert på massivtrelementer - Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold*. (30). Oslo: SINTEF Byggforsk. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prrapp-30_net.pdf.
- Verdier, T. et al. (2014) A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods. I: *Building and Environment*, 80, s. 136–149. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.030.
- Viitanen, H. et al. (2010) Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures. I: *Journal of Building Physics*, 33.3, s. 201–224. doi: 10.1177/1744259109343511.
- WUFI (2021) *WUFI 2D / WUFI (en)*. Tilgjengelig fra: <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/> (Hentet: 27. april 2021).

Vedlegg

Vedlegg	Tittel
A	Intervjuguide
B	Forskningstillatelse
C	Materialparametere
D	Beregningstilfeller
E	Høyeste årlige muggindeks
F	Kritiske timer

Vedlegg A Intervjuguide

Fukt i kantbjelker – Intervjuguide

Innledningsvis

1. Hvem jeg er, hva jeg holder på med og hvorfor jeg gjør det.
 - a. Eirik D. Haandlykken, Bygg og miljøteknikk NTNU, hovedprofil: Bygnings- og materialteknikk. Oppgave om fuktproblemer ifb. med kantbjelker.
2. Hva resultatet vil brukes til.
 - a. Resultatet vil bli brukt i analyser og diskusjoner i masteroppgaven.
3. Hvordan informanter er valgt ut.
 - a. Aktører og boligbyggere som har erfaring og kunnskap knyttet til problemstillingen.
4. Forklare anonymitet, taushetsplikt og rettigheter.
 - a. Informasjon vil holdes konfidensielt og kun brukes profesjonelt i oppgaven. Vil ikke kunne identifiseres med navn eller bedrift.
 - b. Har mulighet til å trekke seg ved enhver anledning og la være å svare på spørsmål.
 - c. Er det greit at det gjøres videoopptak? Opptak av møte vil bli transkribert for så bli slettet i etterkant.
5. Hvor mange samtaler er ønskelig
 - a. Det er innledningsvis bare ønske om én samtale, med mulig senere oppfølging på noen svar utover våren.
6. (Introdusere problemstilling)

Generelt

1. Hvor jobber informanten og hvilke arbeidsoppgaver/erfaring har han/hun?

Erfaring og kunnskap rundt fukt i kantbjelker

2. Har du/dere opplevd fuktproblemer i kantbjelker?
3. Hvor oppstår problemene?
 - a. Etasje, rom etc?
4. Når oppdages problemene?
 - a. Oppdages det problemer før konstruksjonen lukkes?
 - b. Oppdages det ved rehabilitering?
5. Hvor omfattende er problemet?
6. Hva ser ut til å være årsakene? Er det enkelte forhold som ligger til grunn hvor problemene oppstår?
 - a. Er problemene større mellom oppvarmede rom, i tilknytning til våtrom etc?
 - b. Er det luftlekkasjer til stede?
 - c. Hvordan er konstruksjonen utført?

Tiltak

7. Hvilke tiltak er gjort for å forebygge fuktproblemene?
 - a. Hvordan gjennomføres uttørring av bygg?
 - b. Hvilke materialer brukes?
8. Hva kan gjøres for å utbedre problemet?

9. Kan nye produkter løse problemet?

a. Hvilke typer produkter kan det evt. være?

b. Vil et pålimt sperresjikt på kantisolasjon være praktisk anvendbart?

Avsluttende

10. Er det ting jeg har oversett som kan føyes til det jeg har spurt om?

11. Evt. andre kommentarer til intervjuet.

Vedlegg B Forskningstillatelse

NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Del 1: Forskningsbeskrivelse

Utførende: Eirik Dobloug Haandlykken

Forskningsstittel: Fukttekniske utfordringer ved overgang trebjelkelag.

Du inviteres herved til å delta i en studie om utfordringer knyttet til den tradisjonelle utførelsen av trebjelkelag i småhus. Din deltagelse i denne studien innebærer å svare på spørsmål knyttet til erfaringer og meninger angående tema. Lengden på intervjuet er estimert til rundt 30 minutter. Med din tillatelse, vil intervjuet tas opp og transkriberes med den hensikt å fange opp så nøyaktig innhold av diskusjonen som mulig; gjengivelse av opplysninger vil bli anonymisert, og i alle skriv og øvrig dokumentasjon vil du kun bli referert under et pseudonym. Studien gjennomføres av Eirik Dobloug Haandlykken, mastergradsstudent ved NTNU i Trondheim. Intervjuet vil bli gjennomført på tid og sted etter nærmere avtale.

Risiko og fordeler:

Gjennom å se på fuktproblematikk som oppstår i bjelkelagets kantbjelke, vil denne studien forhåpentligvis bidra til en økt forståelse og kompetanse rundt fuktutfordringer i norsk boligbygging. Da jeg ikke har noen økonomisk støtte, er det ingen finansiell godtgjørelse for deltakelse i studien.

Datalagring for å beskytte konfidensialitet:

All informasjon som gis vil bli behandlet konfidensielt og kun brukes for profesjonelle formål i studien. Dersom annet ikke er avtalt vil du ikke under noen omstendigheter kunne bli identifisert med navn eller i form av annen informasjon som følge av deltagelse i denne studien, heller ikke i eventuelt senere publikasjoner.

Hvordan resultatene vil bli brukt:

Denne studien vil fungere som oppfyllelse av kravene for en mastergrad i bygnings- og materialteknikk ved institutt for bygg- og miljøteknikk, fakultet for ingeniørvitenskap, NTNU, Trondheim. Resultatene fra studien vil bli publisert i form av en masteroppgave.

Del 2: Deltakers rettigheter og bekreftelse

- Jeg har lest og forstått forskningsbeskrivelsen. Jeg har hatt muligheten til å stille spørsmål vedrørende formål og prosedyrer angående denne studien.
- Min deltakelse i denne studien er frivillig. Jeg har mulighet til å la være å delta eller trekke meg fra deltakelsen ved enhver anledning.
- Jeg aksepterer at intervjuerne kan fjerne meg fra undersøkelsen ut fra deres vurdering og faglige skjønn.
- Ingen informasjon som fremkommer i undersøkelsen, skal identifisere meg. Jeg, eller informasjon som gjelder meg, kan identifiseres etter nærmere skriftlig avtale.
- Hvis jeg på noe tidspunkt har spørsmål angående undersøkelsen eller min deltakelse, kan jeg kontakte intervjuerne som vil svare på mine spørsmål. Intervjuernes kontaktinformasjon finnes lenger ned i dokumentet. Jeg vil også ha mulighet til å kontakte intervjuernes veileder.
- Lydopptak er en del av denne studien. Bare intervjuerne og deres veileder vil ha tilgang til lydopptak og skrevet materiale.
- Denne erklæring er utstedt i 2 – to – eksemplarer, hvorav hver av partene (intervjuobjekt og intervjuer) beholder hver sin.

Jeg samtykker til at det gjøres lydopptak av intervjuet	
Jeg samtykker IKKE til at det gjennomføres lydopptak av intervjuet	

Jeg samtykker til å delta i studiet på ovennevnte vilkår.

....., den.....2021

.....

Intervjuobjekt

Intervjuers bekreftelse på forklaring

Jeg, Eirik Dobloug Haandlykken, bekrefter at jeg har forklart formålet og gangen i denne studien for intervjuobjektet. Jeg har svart på alle hans/hennes spørsmål og han/hun har bekreftet at hun/han ønsker å delta i denne studien.

Tromsø....., den *08.02* /.....2021

Eirik D.....

Eirik Dobloug Haandlykken

954 28 337

eirikdh@stud.ntnu.no

Vedlegg C Materialparametere

Tabell C.1: S_d -verdier for trebaserte materialer brukt i simuleringene. Interpolering er benyttet mellom de ulike verdiene. Basert på SINTEF Community (2003).

RF [%]	S_d -verdi [m]
Limtre, t = 50 mm	
30	5,4
60	2,0
70	1,4
95	1,4
Sponplate, t = 18 mm	
30	3,5
70	3,5
95	2,1
Kryssfiner, t = 18 mm	
30	2,6
95	1,4

Tabell C.2: S_d -verdier smart dampsperre (Sletfjerdings, 2019). Interpolering er benyttet mellom de ulike verdiene.

RF [%]	S_d -verdi [m]
0	100
12,5	90
25	35
37,5	13
62,5	3,3
75	0,21
90	0,2

Tabell C.3: Materialer benyttet i WUFI 2D for konstruksjon A.

Konstruksjonsdel	Materiale i WUFI 2D
Kantbjelke	Scandinavian spruce transverse direction II (SSTDII) (S_d -verdier i tabell C.1)
Toppsvill	SSTDII
Bunnsvill	SSTDII
Utvendig kledning	SSTDII
Gulv	SSTDII
Utforing	SSTDII
Innvendig kledning	Gypsum board interior (S_d -verdi = 0,068 m)
Himling	Gypsum board interior (S_d -verdi = 0,068 m)
Undergulv	Chipboard (S_d i tabell C.1)
Isolasjon	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK) (Konduktiviteten endret til 0,034 W/mK)
Vindsperre	AiF Wood-Fiber Insulation Board WF high density (Diffusjonsmotstandsfaktor endret til 17, $S_d = 0,2$ m)
Dampspærre	PE-Membrane 0,15 mm ($S_d = 70$ m)
Luftespalte	Air layer 40mm; without additional moisture capacity
Teknisk sjikt	Air layer 50mm; without additional moisture capacity
Luftsikt over isolasjon	Air layer 100mm; without additional moisture capacity
Vindsperre	
Rullprodukt	Membrane of laminated polyetylen and polypropylen ($S_d = 0,014$ m)
Materiale i kantbjelken	
Sponplate	Chipboard (S_d -verdier i tabell C.1)
Kryssfiner	Plywood density 600 (S_d -verdier i tabell C.1)
OSB-plate	OSB ($S_d = 0,9$ m)
Materiale i himling	
Panel	SSTDII ($S_d = 0,3$ m)
Vertikalt sperresjikt	
Dampbrems, $S_d = 5$ m	Vapour retarder ($S_d=5$ m)
Dampbrems, $S_d = 10$ m	Vapour retarder ($S_d = 10$ m)
Dampspærre	PE-Membrane 0,15 mm ($S_d = 70$ m)
Smart dampspærre	Intello (till 2015) (S_d -verdi i tabell C.2)

Tabell C.4: Materialer benyttet i WUFI 2D for konstruksjon B.

Konstruksjonsdel	Materiale i WUFI 2D
Kantbjelke	Chipboard (S_d i tabell C.1)
Kubbing	Chipboard (S_d i tabell C.1)
Toppsvill	SSTDII
Bunnsvill	SSTDII
Utvendig kledning	SSTDII
Gulv	SSTDII
Utforing	SSTDII
Innvendig kledning	Gypsum board interior (S_d -verdi = 0,068 m)
Himling	Gypsum board interior (S_d -verdi = 0,068 m)
Undergulv	Chipboard (S_d i tabell C.1)
Isolasjon	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK) (Konduktivitet endret til 0,034 W/mK)
Vindsperre	AiF Wood-Fiber Insulation Board WF high density (Diffusjonsmotstandsfaktor endret til 17)
Dampsperre	PE-Membrane 0,15 mm ($S_d = 70$ m)
Luftespalte	Air layer 40mm; without additional moisture capacity
Teknisk sjikt	Air layer 50mm; without additional moisture capacity
Luftsjikt over isolasjon	Air layer 100mm; without additional moisture capacity
Vindsperre	
Vindpapp	Membrane of laminated polyetylen and polypropylen ($S_d = 0,014$ m)
Materiale i kantbjelken	
Limtre	SSTDII (S_d i tabell C.1)
Kryssfiner	Plywood density 600 (S_d -verdier i tabell C.1)
OSB-plate	OSB ($S_d = 0,9$ m)
Materiale i himling	
Panel	SSTDII ($S_d = 0,3$ m)
Materiale i kubbing	
Kryssfiner	Plywood density 600

Vedlegg D Beregningstilfeller

Tabell D.1: Beregningstilfeller for konstruksjon A og B i referansen.

Variable	1	2	3	4	5
Vindsperre					
Sd=0,2 m	x		x	x	x
Sd = 0,014 m		x			
Uteklima					
Trondheim	x	x			x
Oslo			x		
Tromsø				x	
Luftlekkasje					
0h ⁻¹	x	x	x	x	
52 h ⁻¹					x

Tabell D.2: Beregningstilfeller med ulike kantbjelkematerialer for konstruksjon A.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kantbjelkemateriale																				
Limtre (Referanse)	x				x				x				x				x			
Sponplate		x				x				x				x				x		
Kryssfinér			x				x				x				x				x	
OSB-plate				x				x				x				x				x
Vindsperre																				
Sd = 0,2 m	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m					x	x	x	x												
Uteklima																				
Trondheim	x	x	x	x	x	x	x	x										x	x	x
Oslo									x	x	x	x								
Tromsø													x	x	x	x				
Luftlekkasje																				
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
52 h ⁻¹																		x	x	x

Tabell D.3: Beregningstilfeller med ulike kantbjelkematerialer for konstruksjon B.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Kantbjelkemateriale																					
Sponplate (Referanse)	x				x				x				x				x				
Kryssfinér		x				x				x				x				x			
OSB-plate			x				x				x				x				x		
Limtre				x				x				x				x				x	
Vindsperre																					
Sd = 0,2 m	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sd = 0,014 m					x	x	x	x													
Uteklima																					
Trondheim	x	x	x	x	x	x	x	x										x	x	x	x
Oslo									x	x	x	x									
Tromsø													x	x	x	x					
Luftlekkasje																					
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
52 h ⁻¹																	x	x	x	x	

Tabell D.4: Beregningstilfeller for konstruksjon A og B med ulike startverdier for byggfukt. Byggfukt er oppgitt i vektprosent.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Byggfukt															
17 prosent	x			x			x			x			x		
20 prosent		x			x			x			x			x	
25 prosent			x			x			x			x			x
Vindsperre															
Sd = 0,2 m	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m				x	x	x									
Uteklima															
Trondheim	x	x	x	x	x	x							x	x	x
Oslo							x	x	x						
Tromsø										x	x	x			
Luftlekkasje															
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
52 h ⁻¹													x	x	x

Tabell D.5: Beregningstilfeller for konstruksjon A og B med ulik plassering av kantbjelke.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Plassering av kantbjelke										
Ytterkant	x		x		x		x		x	
Inntrukket		x		x		x		x		x
Vindsperre										
Sd=0,2 m	x	x			x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m			x	x						
Uteklima										
Trondheim	x	x	x	x					x	x
Oslo					x	x				
Tromsø							x	x		
Luftlekkasje										
0h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x		
52 h ⁻¹									x	x

Tabell D.6: Beregningstilfeller for konstruksjon A og B med ulik isolasjonsmengde i bjelkelaget.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Isolasjonstykkelse															
200 mm	x			x			x			x			x		
300 mm		x			x			x			x			x	
0 mm			x			x			x			x			x
Vindsperre															
Sd = 0,2 m	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m				x	x	x									
Uteklima															
Trondheim	x	x	x	x	x	x							x	x	x
Oslo							x	x	x						
Tromsø										x	x	x			
Luftlekkasje															
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
52 h ⁻¹													x	x	x

Tabell D.7: Beregningstilfeller for konstruksjon A og B med ulike himlingsmaterialer.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Himlingsmateriale										
Gips	x		x		x		x		x	
Panel		x		x		x		x		x
Vindsperre										
Sd=0,2 m	x	x			x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m			x	x						
Uteklima										
Trondheim	x	x	x	x					x	x
Oslo					x	x				
Tromsø							x	x		
Luftlekkasje										
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x		
52 h ⁻¹									x	x

Tabell D.8: Beregningstilfeller for konstruksjon A med bruk av vertikalt sperresjikt i kantisolasjon.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Sperresjikt																										
Sd = 0 m	x					x					x					x					x					
Sd = 5 m		x					x					x					x					x				
Sd = 10 m			x					x					x					x					x			
Sd = 70 m				x					x					x					x					x		
Sd = var.					x					x					x					x					x	
Vindsperre																										
Sd = 0,2 m	x	x	x	x	x						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sd = 0,014 m						x	x	x	x	x																
Uteklima																										
Trondheim	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												x	x	x	x	x
Oslo											x	x	x	x	x											
Tromsø																x	x	x	x	x						
Luftlekkasje																										
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
52 h ⁻¹																						x	x	x	x	x

Tabell D.9: Beregningstilfeller for konstruksjon B med ulike materialer i kubbingen.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kubbingmateriale															
Sponplate	x			x			x			x			x		
Trefiberplate		x			x			x			x			x	
OSB			x			x			x			x			x
Vindsperre															
Sd = 0,2 m	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m				x	x	x									
Uteklima															
Trondheim	x	x	x	x	x	x							x	x	x
Oslo							x	x	x						
Tromsø										x	x	x			
Luftlekkasje															
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
52 h ⁻¹													x	x	x

Tabell D.10: Beregningstilfeller for konstruksjon B med ulike plassering av kubbingen.

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Plassering av kubbing															
x = 0	x			x			x			x			x		
x = 0,5 m		x			x			x			x			x	
x = 1 m			x			x			x			x			x
Vindsperre															
Sd = 0,2 m	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd = 0,014 m				x	x	x									
Uteklima															
Trondheim	x	x	x	x	x	x							x	x	x
Oslo							x	x	x						
Tromsø										x	x	x			
Luftlekkasje															
0 h ⁻¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
52 h ⁻¹													x	x	x

Vedlegg E Høyeste årlige muggindeks

Referanse

Konstruksjon A

Tabell E.1: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A for referansen.

Nr. Beskrivelse	Muggindeks		
	1. år	2. år	3. år
1 Standardtilfelle	4,7	4,8	4,8
2 Vindpapp, $S_d = 0,014$ m	3,2	4,2	4,3
3 Uteklima = Oslo	3,7	2,8	1,9
4 Uteklima = Tromsø	4,5	4,8	4,8
5 Luftlekkasje = 52 h^{-1}	4,3	4,6	4,6

Konstruksjon B

Tabell E.2: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B for referansen.

Nr. Beskrivelse	Muggindeks		
	1. år	2. år	3. år
1 Standardtilfellet	5,9	5,5	4,5
2 Vindpapp, $S_d = 0,014$ m	5,8	5,5	5,5
3 Uteklima = Oslo	5,8	4,8	3,0
4 Uteklima = Tromsø	5,8	5,4	5,1
5 Luftlekkasje = 52 h^{-1}	6	6	6

Materiale i kantbjelken

Konstruksjon A

Tabell E.3: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A med variasjon i kantbjelkens materiale. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Limtre	4,7	4,8	4,8
2		Sponplate	5,0	5,3	5,3
3		Kryssfinér	4,9	5,0	5,0
4		OSB	2,7	2,7	2,6
Vindsperre					
5	S_d = 0,014 m	Limtre	4,7	4,8	4,8
6		Sponplate	4,3	5,0	5,0
7		Kryssfinér	4,6	4,9	4,9
8		OSB	1,1	1,5	1,6
Uteklima					
9	Oslo	Limtre	4,3	4,0	3,2
10		Sponplate	3,8	2,6	2,0
11		Kryssfinér	4,3	4,0	3,4
12		OSB	1,5	0,8	0,8
13	Tromsø	Limtre	4,5	4,8	4,8
14		Sponplate	3,7	4,7	4,8
15		Kryssfinér	4,6	4,9	4,9
16		OSB	1,6	1,1	1,1
Luftlekkasje					
17	52 h⁻¹	Limtre	4,3	4,6	4,6
18		Sponplate	5,3	5,3	5,3
19		Kryssfinér	5,3	5,3	5,3
20		OSB	5,0	5,2	5,2

Konstruksjon B

Tabell E.4: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon i kantbjelkens materiale. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Sponplate	5,9	5,5	5,5
2		Kryssfiner	4,2	4,9	4,9
3		OSB	2,5	2,6	2,6
4		Limtre	4,5	4,6	4,5
Vindsperre					
5	S_d = 0,014 m	Sponplate	5,8	5,5	5,5
6		Kryssfiner	3,8	4,8	4,8
7		OSB	1,2	1,3	1,3
8		Limtre	4,1	4,6	4,4
Uteklima					
9	Oslo	Sponplate	5,8	4,8	3,0
10		Kryssfiner	3,4	2,8	1,6
11		OSB	1,6	1,3	0,8
12		Limtre	3,7	2,0	1,7
13	Tromsø	Sponplate	5,8	5,4	5,1
14		Kryssfiner	3,2	4,3	4,3
15		OSB	1,4	1,2	0,7
16		Limtre	3,5	3,8	2,2
Luftlekkasje					
17	52 h⁻¹	Sponplate	6,0	6,0	6,0
18		Kryssfiner	4,8	5,0	5,0
19		OSB	3,8	4,6	4,7
20		Limtre	4,0	4,5	4,5

Byggfukt

Konstruksjon A

Tabell E.5: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A med variasjon startverdi for byggfukt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Byggfukt	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	17 %	4,7	4,8	4,8
2		20 %	4,7	4,8	4,7
3		25 %	4,9	4,9	4,9
Vindsperre					
4	S_d = 0,014 m	17 %	4,7	4,8	4,8
5		20 %	4,7	4,8	4,8
6		25 %	4,8	4,8	4,8
Uteklima					
7	Oslo	17 %	4,3	4,0	3,2
8		20 %	4,6	4,2	3,3
9		25 %	4,8	4,4	3,5
10	Tromsø	17 %	4,5	4,8	4,8
11		20 %	4,7	4,8	4,8
12		25 %	4,8	5,0	5,0
Luftlekkasje					
13	52 h⁻¹	17 %	4,3	4,6	4,6
14		20 %	4,4	4,6	4,6
15		25 %	4,7	4,7	4,7

Konstruksjon B

Tabell E.6: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon startverdi for byggfukt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Byggfukt	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	17 %	5,9	5,5	5,5
2		20 %	6,0	5,9	5,5
3		25 %	6,0	5,9	5,5
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014$ m	17 %	5,8	5,5	5,5
5		20 %	5,9	5,6	5,5
6		25 %	6,0	5,7	5,5
Uteklima					
7	Oslo	17 %	5,8	4,8	3,0
8		20 %	5,9	4,9	3,1
9		25 %	6,0	5,2	3,2
10	Tromsø	17 %	5,8	5,4	5,1
11		20 %	5,9	5,6	5,2
12		25 %	6,0	6,0	5,2
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	17 %	6,0	6,0	6,0
14		20 %	6,0	6,0	6,0
15		25 %	6,0	6,0	6,0

Kantbjelkens plassering

Konstruksjon A

Tabell E.7: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A med variasjon kantbjelkens plassering. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Ytterkant	4,7	4,8	4,8
2		Inntrukket	3,8	4,0	3,8
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Ytterkant	4,7	4,8	4,8
4		Inntrukket	4,6	4,6	4,5
Uteklima					
5	Oslo	Ytterkant	4,3	4,0	3,2
6		Inntrukket	4,1	1,7	0,9
7	Tromsø	Ytterkant	4,5	4,8	4,8
8		Inntrukket	4,4	3,7	2,9
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Ytterkant	4,3	4,6	4,6
10		Inntrukket	0,1	0,0	0,0

Konstruksjon B

Tabell E.8: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon kantbjelkens plassering. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Ytterkant	5,9	5,5	5,5
2		Inntrukket	5,4	4,4	2,9
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014$ m	Ytterkant	5,8	5,5	5,5
4		Inntrukket	5,2	4,1	2,6
Uteklima					
5	Oslo	Ytterkant	5,8	4,8	3,0
6		Inntrukket	5,3	4,2	1,2
7	Tromsø	Ytterkant	5,8	5,4	5,1
8		Inntrukket	5,3	4,4	1,8
Luftlekkasje					
9	52 h⁻¹	Ytterkant	6,0	6,0	6,0
10		Inntrukket	5,2	4,2	2,9

Bjelkelagsisolasjon

Konstruksjon A

Tabell E.9: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A med variasjon bjelkelagets isolasjonstykkelse. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Isolasjonstykkelse [mm]	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	200	4,7	4,8	4,8
2		300	4,8	4,8	4,8
3		0	4,8	4,9	4,9
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	200	4,7	4,8	4,8
5		300	4,7	4,8	4,8
6		0	4,7	4,8	4,8
Uteklima					
7	Oslo	200	4,3	4,0	3,2
8		300	4,6	4,5	4,1
9		0	4,6	4,6	4,6
10	Tromsø	200	4,5	4,8	4,8
11		300	4,3	4,8	4,7
12		0	4,4	4,8	4,8
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	200	4,3	4,6	4,6
14		300	4,3	4,6	4,6
15		0	4,3	4,6	4,6

Konstruksjon B

Tabell E.10: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon bjelkelagets isolasjonstykkelse. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Isolasjonstykkelse [mm]	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	200	5,9	5,5	5,5
2		300	5,9	5,5	5,4
3		0	5,9	5,6	5,5
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	200	5,8	5,5	5,5
5		300	5,8	5,5	5,5
6		0	5,8	5,5	5,5
Uteklima					
7	Oslo	200	5,8	4,8	3,0
8		300	5,8	4,8	2,9
9		0	5,7	4,7	3,1
10	Tromsø	200	5,8	5,4	5,1
11		300	5,8	5,4	4,9
12		0	5,8	5,4	5,3
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	200	6,0	6,0	6,0
14		300	6,0	6,0	6,0
15		0	6,0	6,0	6,0

Himlingsmateriale

Konstruksjon A

Tabell E.11: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A med variasjon i himlingsmateriale. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Gips	4,7	4,8	4,8
2		Panel	4,8	4,8	4,8
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Gips	4,7	4,8	4,8
4		Panel	4,7	4,8	4,8
Uteklima					
5	Oslo	Gips	4,3	4,0	3,2
6		Panel	4,5	4,0	2,8
7	Tromsø	Gips	4,5	4,8	4,8
8		Panel	4,5	4,8	4,7
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Gips	4,3	4,6	4,6
10		Panel	4,3	4,6	4,6

Konstruksjon B

Tabell E.12: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon i himlingsmateriale. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Gips	5,9	5,5	5,5
2		Panel	5,9	5,6	5,5
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Gips	5,8	5,5	5,5
4		Panel	5,9	5,5	5,5
Uteklima					
5	Oslo	Gips	5,8	4,8	3,0
6		Panel	5,8	4,9	3,0
7	Tromsø	Gips	5,8	5,4	5,1
8		Panel	5,9	5,4	5,0
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Gips	6,0	6,0	6,0
10		Panel	6,0	6,0	6,0

Vertikalt sperresjikt

Konstruksjon A

Tabell E.13: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon A ved bruk av vertikalt sperresjikt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	S_d -verdi [m]	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	0	4,7	4,8	4,8
2		5	2,1	0,2	0,0
3		10	1,6	0,0	0,0
4		70	1,3	0,0	0,0
5		var.	4,2	4,3	3,4
Vindsperre					
6	$S_d = 0,014$ m	0	4,7	4,8	4,8
7		5	1,8	0,2	0,1
8		10	1,4	0,0	0,0
9		70	1,0	0,0	0,0
10		var.	3,9	4,2	3,8
Uteklima					
11	Oslo	0	4,3	4,0	3,2
12		5	1,5	0,0	0,0
13		10	1,1	0,0	0,0
14		70	0,7	0,0	0,0
15		var.	3,2	1,3	0,0
16	Tromsø	0	4,5	4,8	4,8
17		5	1,4	0,0	0,0
18		10	1,1	0,0	0,0
19		70	0,7	0,0	0,0
20		var.	2,6	1,5	0,0
Luftlekkasje					
21	52 h^{-1}	0	4,3	4,6	4,6
22		5	4,3	4,6	4,6
23		10	4,3	4,6	4,6
24		70	4,3	4,6	4,6
25		var.	4,3	4,6	4,6

Kubbingmateriale

Konstruksjon B

Tabell E.14: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon i kubbingmateriale. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	Sponplate	5,9	5,5	5,5
2		Kryssfinér	5,8	5,3	5,2
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Sponplate	5,8	5,5	5,5
4		Kryssfinér	5,7	5,3	5,2
Uteklima					
5	Oslo	Sponplate	5,8	4,8	3,0
6		Kryssfinér	5,7	4,6	2,2
7	Tromsø	Sponplate	5,8	5,4	5,1
8		Kryssfinér	5,7	5,7	5,6
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Sponplate	6,0	6,0	6,0
10		Kryssfinér	5,8	5,8	5,8

Kubbingens plassering

Konstruksjon B

Tabell E.15: Høyeste muggindeks for hvert av de simulerte årene i konstruksjon B med variasjon i kubbingens plassering. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Muggindeks		
			1. år	2. år	3. år
1	Standardtilfelle	x = 0 m	5,9	5,5	5,5
2		x = 0,5 m	5,3	4,8	4,7
3		x = 1 m	5,9	5,8	5,7
Vindsperre					
4	Sd=0,014	x = 0 m	5,8	5,5	5,5
5		x = 0,5 m	5,8	5,7	5,7
6		x = 1 m	5,8	5,8	5,7
Uteklima					
7	Oslo	x = 0 m	5,8	4,8	3,0
8		x = 0,5 m	5,8	5,3	4,8
9		x = 1 m	5,8	5,4	5,3
10	Tromsø	x = 0 m	5,8	5,4	5,1
11		x = 0,5 m	5,8	5,7	5,6
12		x = 1 m	5,8	5,8	5,7
Luftlekkasje					
13	52 h ⁻¹	x = 0 m	6,0	6,0	6,0
14		x = 0,5 m	6,0	6,0	6,0
15		x = 1 m	6,0	6,0	6,0

Vedlegg F Kritiske timer

Referanse

Konstruksjon A

Tabell F.1: Resultat for antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for referansen.

Nr.	Beskrivelse	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
		$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	5363	2183	9363
2	Vindpapp, $S_d = 0,014$ m	3337	2147	11025
3	Uteklima = Oslo	1936	1175	5896
4	Uteklima = Tromsø	2403	1590	8973
5	Luftlekkasje = 52 h^{-1}	2868	11152	19286

Konstruksjon B

Tabell F.2: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for referansen.

Nr.	Beskrivelse	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
		$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	5310	1774	4167
2	Vindpapp, $S_d = 0,014$ m	4390	1593	3718
3	Uteklima = Oslo	3200	1302	1619
4	Uteklima = Tromsø	3224	1050	2378
5	Luftlekkasje = 52 h^{-1}	5697	1766	13113

Materiale i kantbjelken

Konstruksjon A

Tabell F.3: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for ulike kantbjelkematerialer. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Limtre	5363	2183	9363
2		Sponplate	260	1194	14154
3		Kryssfinér	2762	2796	10794
4		OSB-plate	5143	1496	3878
Vindsperre					
5	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Limtre	3337	2147	11025
6		Sponplate	5470	1856	6327
7		Kryssfinér	2859	3023	9780
8		OSB-plate	10754	2537	1262
Uteklima					
9	Oslo	Limtre	1936	1175	5896
10		Sponplate	2372	1358	3968
11		Kryssfinér	2179	1327	5444
12		OSB-plate	3429	1599	942
13	Tromsø	Limtre	2403	1590	8973
14		Sponplate	5051	1108	5027
15		Kryssfinér	149	2005	9918
16		OSB-plate	3973	1637	1523
Luftlekkasje					
17	52 h^{-1}	Limtre	5266	2868	11152
18		Sponplate	3396	2426	15270
19		Kryssfinér	3396	2426	15270
20		OSB-plate	5497	2302	11411

Konstruksjon B

Tabell F.4: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike kantbjelkematerialer. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Sponplate	5310	1774	4167
2		Kryssfiner	5555	2138	6420
3		OSB	4891	1927	980
4		Limtre	5090	1458	7038
Vindsperre					
5	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Sponplate	4390	1593	3718
6		Kryssfiner	5688	1984	5870
7		OSB	4790	832	300
8		Limtre	4968	1444	6318
Uteklima					
9	Oslo	Sponplate	3200	1302	1619
10		Kryssfiner	2902	1584	3159
11		OSB	3760	715	163
12		Limtre	3391	1297	2618
13	Tromsø	Sponplate	3224	1050	2378
14		Kryssfiner	3625	1157	4802
15		OSB	2990	644	267
16		Limtre	2790	1228	4540
Luftlekkasje					
17	52 h^{-1}	Sponplate	5697	1766	13113
18		Kryssfiner	5146	1735	13277
19		OSB	6862	3964	7932
20		Limtre	5571	3753	9327

Byggfukt

Konstruksjon A

Tabell F.5: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for ulike startverdier for byggfukt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Byggfukt	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	17 %	5363	2183	9363
2		20 %	5015	1824	10147
3		25 %	1779	1260	14607
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	17 %	3337	2147	11025
5		20 %	2485	2271	11757
6		25 %	1093	1321	14098
Uteklima					
7	Oslo	17 %	1936	1175	5896
8		20 %	1751	1111	6264
9		25 %	1560	953	6931
10	Tromsø	17 %	2403	1590	8973
11		20 %	1939	945	10086
12		25 %	367	857	11736
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	17 %	5266	2868	11152
14		20 %	5123	2617	11595
15		25 %	5147	1352	13139

Konstruksjon B

Tabell F.6: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike startverdier for byggfukt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Byggfukt	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^{\circ}\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^{\circ}\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^{\circ}\text{C}$
1	Standardtilfelle	17 %	5310	1774	4167
2		20 %	5617	1748	4885
3		25 %	5238	1454	5667
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	17 %	4390	1593	3718
5		20 %	4310	1803	3891
6		25 %	4289	1524	4865
Uteklima					
7	Oslo	17 %	3200	1302	1619
8		20 %	3147	1295	1980
9		25 %	2925	1200	2733
10	Tromsø	17 %	3224	1050	2378
11		20 %	3597	869	2638
12		25 %	2814	1481	3372
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	17 %	5697	1766	13113
14		20 %	5585	1809	13188
15		25 %	5484	1721	13460

Kantbjelkens plassering

Konstruksjon A

Tabell F.7: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for ulike plasseringer av kantbjelken. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Ytterkant	5363	2183	9363
2		Inntrukket	9831	6902	4796
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Ytterkant	3337	2147	11025
4		Inntrukket	4029	1747	10433
Uteklima					
5	Oslo	Ytterkant	1936	1175	5896
6		Inntrukket	5396	2421	3084
7	Tromsø	Ytterkant	2403	1590	8973
8		Inntrukket	3925	2548	4732
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Ytterkant	5266	2868	11152
10		Inntrukket	2760	0	0

Konstruksjon B

Tabell F.8: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike plasseringer av kantbjelken. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Ytterkant	5310	1774	4167
2		Inntrukket	7642	2468	2478
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Ytterkant	4390	1593	3718
4		Inntrukket	7600	2083	1682
Uteklima					
5	Oslo	Ytterkant	3200	1302	1619
6		Inntrukket	3833	1343	1263
7	Tromsø	Ytterkant	3224	1050	2378
8		Inntrukket	4655	961	1098
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Ytterkant	5697	1766	13113
10		Inntrukket	7908	2434	2272

Bjelkelagsisolasjon

Konstruksjon A

Tabell F.9: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for ulike isolasjonstykkelser. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Tykkelse [mm]	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	200	5363	2183	9363
2		300	4315	1896	11219
3		0	3627	1786	12309
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	200	3337	2147	11025
5		300	4214	1901	10387
6		0	2836	2395	11357
Uteklima					
7	Oslo	200	1936	1175	5896
8		300	2607	1182	6631
9		0	2949	1198	7234
10	Tromsø	200	2403	1590	8973
11		300	2959	1853	8097
12		0	2003	2028	8997
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	200	5266	2868	11152
14		300	5221	2834	11226
15		0	5223	2832	11228

Konstruksjon B

Tabell F.10: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike isolasjonstykkelser. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Tykkelse [mm]	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	200	5310	1774	4167
2		300	5381	1666	4092
3		0	5234	1920	4223
Vindsperre					
4	$S_d = 0,014 \text{ m}$	200	4390	1593	3718
5		300	4475	1379	3668
6		0	4456	1622	3743
Uteklima					
7	Oslo	200	3200	1302	1619
8		300	3260	1192	1615
9		0	3174	1377	1567
10	Tromsø	200	3224	1050	2378
11		300	3212	1140	2223
12		0	3453	954	2514
Luftlekkasje					
13	52 h^{-1}	200	5697	1766	13113
14		300	5684	1783	13095
15		0	5697	1766	13113

Materiale i himlingen

Konstruksjon A

Tabell F.11: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for ulike materialer i himlingen. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Gips	5363	2183	9363
2		Panel	4427	1783	10996
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Gips	3337	2147	11025
4		Panel	4224	1920	10241
Uteklima					
5	Oslo	Gips	1936	1175	5896
6		Panel	2037	1105	5862
7	Tromsø	Gips	2403	1590	8973
8		Panel	2918	1429	8170
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Gips	5266	2868	11152
10		Panel	5198	2855	11236

Konstruksjon B

Tabell F.12: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike sperresjikt i kantisolasjonen. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Gips	5310	1774	4167
2		Panel	5192	1727	4168
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Gips	4390	1593	3718
4		Panel	4330	1385	3738
Uteklima					
5	Oslo	Gips	3200	1302	1619
6		Panel	3223	1271	1712
7	Tromsø	Gips	3224	1050	2378
8		Panel	3202	1022	2363
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Gips	5697	1766	13113
10		Panel	5700	1773	13106

Vertikalt sperresjikt

Konstruksjon A

Tabell F.13: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon A er over gitte grenseverdier for vertikale sperresjikt. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	S _d -verdi [m]	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			80% ≤ RF < 90% T > 5°C	90% ≤ RF < 95% T > 5°C	RF > 95% T > 5°C
1	Standardtilfelle	0	5363	2183	9363
2		5	5067	898	1083
3		10	4548	1370	506
4		70	3371	1224	12
5		var.	5365	1570	5293
Vindsperre					
6	S_d = 0,014 m	0	3337	2147	11025
7		5	5105	700	952
8		10	4421	841	477
9		70	3690	1121	10
10		var.	4912	1474	5231
Uteklima					
11	Oslo	0	1936	1175	5896
12		5	1409	1135	332
13		10	1490	1092	138
14		70	1669	808	85
15		var.	1667	557	1988
16	Tromsø	0	2403	1590	8973
17		5	1948	446	748
18		10	1201	572	433
19		70	1058	523	226
20		var.	3558	514	1735
Luftlekkasje					
21	52 h⁻¹	0	5266	2868	11152
22		5	5220	2687	11395
23		10	5220	2687	11395
24		70	5220	2687	11394
25		var.	5221	2692	11393

Materiale i kubbingen

Konstruksjon B

Tabell F.14: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike materialer i kubbingen. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Materiale	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $T > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	Sponplate	5310	1774	4167
2		Kryssfiner	5161	1891	5813
Vindsperre					
3	$S_d = 0,014 \text{ m}$	Sponplate	4390	1593	6177
4		Kryssfiner	4197	1475	3718
Uteklima					
5	Oslo	Sponplate	3200	1302	5066
6		Kryssfiner	3208	836	5492
7	Tromsø	Sponplate	3224	1050	1619
8		Kryssfiner	2622	1679	2617
Luftlekkasje					
9	52 h^{-1}	Sponplate	5697	1766	13113
10		Kryssfiner	5146	1735	13277

Kubbingens plassering

Konstruksjon B

Tabell F.15: Antall timer i løpet av tre år hvor RF og temperatur på kantbjelkens innside i konstruksjon B er over gitte grenseverdier for ulike plasseringer av kubbingen. Referansen er uthevet.

Nr.	Beskrivelse	Plassering	Antall timer hvor RF og temperatur er høyere enn gitte grenseverdier		
			$80\% \leq \text{RF} < 90\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$90\% \leq \text{RF} < 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$	$\text{RF} > 95\%$ $\text{T} > 5^\circ\text{C}$
1	Standardtilfelle	x = 0 m	5310	1774	4167
2		x = 0,5 m	5066	1535	5813
3		x = 1 m	4966	1871	6177
Vindsperre					
4	S_d = 0,014 m	x = 0 m	1774	4167	3718
5		x = 0,5 m	1535	5813	5066
6		x = 1 m	1871	6177	5492
Uteklima					
7	Oslo	x = 0 m	1593	3718	1619
8		x = 0,5 m	1247	5066	2617
9		x = 1 m	1509	5492	3366
10	Tromsø	x = 0 m	1302	1619	2378
11		x = 0,5 m	1717	2617	3485
12		x = 1 m	1549	3366	4336
Luftlekkasje					
13	52 h⁻¹	x = 0 m	1050	2378	13113
14		x = 0,5 m	1514	3485	13009
15		x = 1 m	1279	4336	13004

