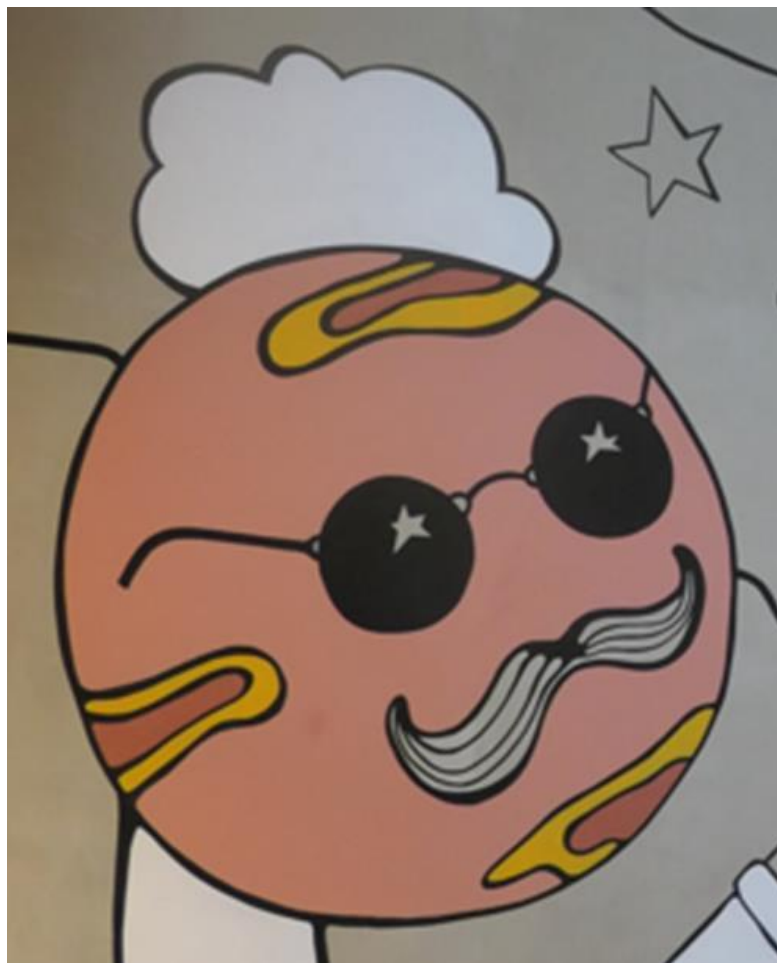


Klimatdata och klimatfiler för övertemperatursimuleringar i byggnader

– en kunskapssammanställning



Vahid Nik
Dennis Johansson
Victor Fransson
Kavan Javanroodi
Petter Wallentén
Mats Persson
2022-12-31

Förord

Denna kunskapssammanställning om klimatdata och klimatfiler har tagits fram med stöd från Boverket. Rapporten har utformats och författats av en arbetsgrupp bestående av personer som tillsammans representerar både bred och djup kompetens och stor erfarenhet inom området.

Detta är en första vända med inventering av klimatdata och klimatfiler. Synpunkter och förslag från denna utgåva samlas in för att kunna ingå i en uppföljande förbättrad utgåva om finansiering kan ordnas.

Mats Persson

Malmö universitet

Detta är en första vända med inventering inom området. Synpunkter och förslag från denna utgåva samlas in för att kunna ingå i en uppföljande förbättrad utgåva om finansiering kan ordnas. Synpunkter och förslag mottas via epost: mats.persson@mau.se

Denna rapport finns tillgänglig på <https://blogg.mah.se/bygglearn/projekt/> tillsammans med några fler kunskapssammanställningar

Där finns även listor och länkar tillgängliga i en Excel-fil

Sammanfattning

Denna kunskapssammanställning om klimatdata och klimatfiler kan ge en bred och korrekt förståelse om var det finns kunskap och vilka utvecklingsbehov som behöver stödjas, vilka som agerar inom området och vilka regler och standarder som tillämpas.

I kapitel 2 finns en genomgång grundläggande mål med klimatdata. Hur klimatdata och klimatfiler används i energiberäkningar, kylsystem m.m.

Kapitel 3 tar upp konsekvenserna av övertemperatur samt vägledning om inomhusklimat och övertemperatur.

I kapitel 4 finns en grundlig genomgång av klimatfiler och klimatmodeller med tanke på övertemperaturer. Historiskt klimat, framtidens klimat och skillnaden mellan typiska och extrema förutsättningar. Värmeöar och klimat i städer, stadsdelar och kvarter belyses som mikroklimat.

Kapitel 5 går igenom forskning och forskningsprojekt om klimatdata och klimatfiler. Sammanställningen har inte kunnat göras fullständig.

Det avslutande kapitlet 6 diskuterar utmaningar och möjligheter kopplat till klimatdata och klimatfiler. För att klara klimatförändringar har det stora fokuset inom byggsektorn (och många andra sektorer) hittills varit att ”lindra effekterna av klimatförändringen”. Detta samtidigt som det är nödvändigt med förberedelser för klimatförändringar, eftersom de sker och påverkar alla människor. Därför behövs större uppmärksamhet på ”klimatförändringsanpassning” genom att öka kunskapen inom byggsektorn, utveckla och testa metoder och syntetisera lättanvända uppsättningar av klimatdata för användarna.

I många länder måste användarna köpa väderdata, medan det i andra länder finns uppsättningar av väderdata som är offentliga. Det finnas flera tillvägagångssätt för att ta fram indata (klimatfiler för framtiden) till den stora användningen som kan förutses. Allt kräver investeringar i att skapa kunskap och underlag/data som kan delas med användarna. Felaktig användning av klimatfiler för framtiden kan leda till mycket dyra ekonomiska konsekvenser. Analysers rumsliga och tidsmässiga upplösningar spelar en viktig roll för kraven på kvalitet på klimatfiler för framtidens väder.

Mikroklimat påverkar energi- och fuktprestandan hos byggnader (och energisystem) men försummas av de flesta tillgängliga tillvägagångssätten. Detta samtidigt som effekter av extrema klimathändelser kan förändras avsevärt i urban/mikroskala. Att ta hänsyn till mikroklimat kommer att öka kostnaden för analyser avsevärt och det är inte möjligt i alla lägen. Därför behöver prioriteringar göras av kvalificerade beslutsfattare.

Osäkerhet finns i alla indata som används i olika analyser av energianvändning och inomhusklimat. När beräkningar och simuleringar görs, kan säkerhetsmarginaler anpassas på olika sätt. Klimatfiler för framtiden kan ha säkerhetsmarginal, men frågan är om det ska vara för en kort, lång eller mycket lång period.

I dagens bostadsprojekt är det mycket ovanligt med komfortkyla. Kommer det att vara annorlunda om 10–15 år? Behöver nya byggnader förberedas för komplettering med komfortkyla? Möjliga konsekvenser och hur osäkerhet ska hanteras samt säkerhetsmarginaler användas behöver utredas vidare.

Det finns tre stora luckor i nuläget för byggbranschen (och anläggningsarbeten)

- 1) Brist på korrekta väderdata/klimatfiler för framtiden, som lätt kan användas av alla intressenter.

- 2) Brist på nya/uppdaterade/verifierade tillvägagångssätt som korrekt tar hänsyn till extrema väderhändelser och osäkerheter om klimatet.
- 3) Bristande kunskap hos ingenjörer, intressenter, ansvariga offentliga sektorer och även forskare om konsekvensanalys av klimatförändringar.

Med tanke på de senaste framstegen inom området för modellering av klimatförändringar och det framgångsrika forskningsarbetet med att koppla klimatmodeller till tekniska modeller, borde det finnas stora möjligheter att ta itu med frågeställningarna. Detta kräver att tydliga mål sätts upp och att åtgärder vidtas.

Förkortningar

AMY	Actual Meteorological Year
BES	Building Energy Simulation
BMC	Building Modular Cell
BPS	Building Performance Simulation
BVD	Building Volume Density
CDD	Cooling Degree Days
CFD	Computational Fluid Dynamics
DNN	Deep Neural Networks
DSY	Design Summer Year
DUT	Dimensionerande utetemperatur
DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur
ECY	Extreme Cool Year
EWY	Extreme Warm Year
EPW	Dataformat
EUT	Extrem utetemperatur
FAI	Front Area Index
GCM	Global Climate Models
HDD	Heating Degree days
IWEC	International Weather Year for Energy Calculation
LoD	Level of detail
LUT	Dimensionerande lägsta utetemperatur
MLP	MultiLayer Perceptron
NSRDB	National Solar Radiation Data Base
pDSY	probabilistic Design Summer Year
RCP	Representative concentration pathway
PHS	Predicted Heat Stress
PPD	Percentage People Dissatisfied
PMV	Predicted Mean Vote
RCD	Regional Climate Downscaling
RCM	Regional Climate Models
RSL	Roughness SubLayer
SET	Standard Effective Temperature
TDY	Typical Downscaled Year
TMM	Typical Meteorological Months
TMY	Typical Meteorological Year
TMY2	version av TMY
TMY3	version av TMY
TPCM	Typical Principal Component Months
TPCY	Typical Principal Component Years
TRY	Typical Reference Year
TSM	Time Series Model
UBEM	Urban Building Energy Models
UCL	Urban Canopy Layer
UES	Urban Energy System
UHI	Urban Heat Islands
UMY	Untypical Meteorological Year
UWG	Urban Weather Generator
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
WMO	World Meteorological Organization
WYEC	Weather Year for Energy Calculations
XMY	Extreme Meteorological Year

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte och avgränsning	7
1.3	Genomförande.....	7
1.4	Till dig som läsare.....	7
2	Klimatdata och klimatfiler	8
2.1	Målet med klimatdata	8
2.2	Energiberäkningar.....	9
2.3	Dimensionering av värmesystem - kort historik	10
2.4	Dimensionering av kylsystem	11
2.5	Dimensionering med hänsyn till övertemperaturer	12
3	Övertemperaturer	14
3.1	Övertemperaturer, höga innetemperaturer	14
3.2	Vägledning om inomhusklimat och övertemperatur	17
3.3	Behov av vägledning	20
4	Klimatfiler och klimatmodeller med tanke på övertemperaturer	21
4.1	Future climate data.....	21
4.2	Weather files for building simulation – past climate.....	22
4.3	Weather files for building simulation – future climate	22
4.4	Weather files for building simulation – typical and extreme conditions	24
4.5	Weather files for building simulation – synthesizing weather files according to Nik’s approach ...	25
4.6	Dependence on the nature of the problem.....	27
4.7	Weather files for building simulation- Urban morphology and microclimate data	28
5	Forskning om klimatdata och klimatfiler	33
5.1	Forskning om klimatdata och klimatfiler	33
5.2	Pågående projekt om klimatdata och klimatfiler	33
6	Utmaningar och möjligheter - Diskussion	36
6.1	Tillgång till väderdata och klimatfiler	36
6.2	Lokala variationer - mikroklimat	36
6.3	Marginal i indata eller analys.....	36
6.4	Rekommendationer	37
	Referenser	38

Bilaga 1 - Klimatfiler

I Inledning

I.1 Bakgrund

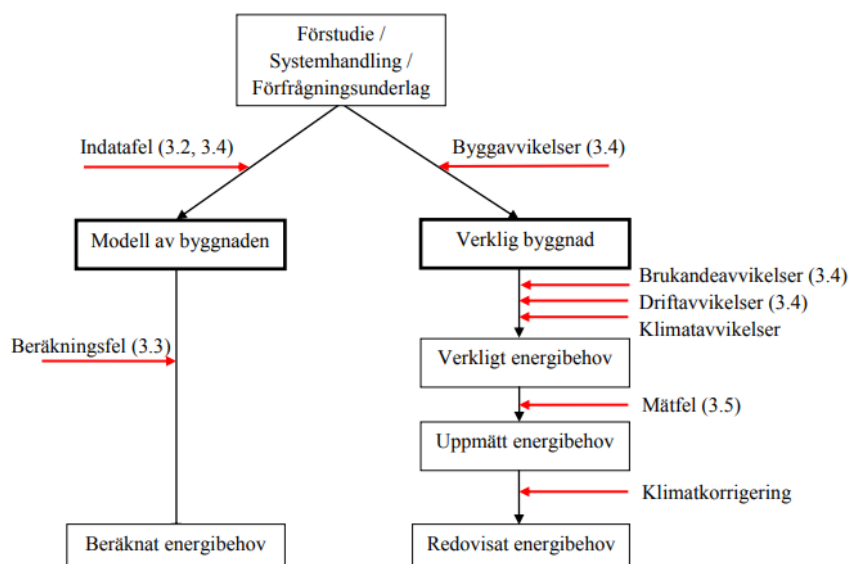
Världen står inför en snabb ökning av luftkonditionering av byggnader. Detta drivs av flera faktorer, såsom urbanisering och förtätning, klimatförändringar och förhöjda krav på komfort tillsammans med ekonomisk tillväxt i varma och tätbefolkade regioner i världen. Trenden mot aktiv kylning i våra byggnader verkar obönhörlig, därför är det oundvikligt att styra denna utveckling mot mer hållbara lösningar.

Boverket har identifierat behov av en analys kring klimatdata och klimatfiler vid simuleringar och hantering av övertemperaturer inom regeringsuppdraget om en översyn av byggreglerna¹. I regeringsuppdraget Möjligheternas byggregler ska sektorns mognad och förmåga att ta ansvar för verifiering av regelverket utgöra underlag för reglernas preciseringsnivå. I samband med regelöversynen finns även behov att undersöka dimensioneringsförutsättnings standardisering och tillgänglighet för byggsektorn.

Det är viktigt att kunna beskriva klimat i framtiden visar Nationella expertrådet för klimatanpassning (2022) som i sin första rapport noterar följande prioriterade åtgärder:

- Förbättra underlag för klimatanpassning baserat på klimatinformation och indikatorer om historiskt och nuvarande klimat.
- Samla och öka tillgänglighet till klimatdata från observationer
- Öka kunskap om och tillgänglighet till data och analyser av extrema väder- och klimathändelser.
- Ökad kunskap kring vilka klimatförändringar som kan förväntas i Sverige givet olika framtida utvecklingar.
- Säkerställ tillgång till relevanta klimatindikatorer.

Ett exempel där information om klimatet används är i vid beräkning av energibehovet för en byggnad. I figur 1.1 visas en bild av indata och fel som kan finnas vid en sådan beräkning.



Figur 1 Schematisk bild över orsaker till avvikelser (inom parantes visas i vilket avsnitt orsaken beskrivs)

Figur 1.1 Felkällor vid jämförelse av beräknat och redovisat energibehov [1].

¹ Regeringens dnr Fi2019/02343/B

Klimatkorrigeringen som visas i bilden fungerar bra för att korrigera skillnaden mellan olika klimatfiler då en byggnads energibehov ska beräknas eller mätas. Oftast görs denna korrigering baserat på gradtimmar eller graddagar (HDD). Metoden tillåter att jämföra resultat av energianvändning baserat på olika klimatfiler (eller verkligt klimat) på ett någorlunda rimligt sätt. Motsvarande generellt accepterade metod för att jämföra beräknad och uppmätt risk för övertemperatur finns inte i dagsläget.

1.2 Syfte och avgränsning

Det finns ett behov av att göra en kunskapssammanställning över de klimatdata och de klimatdata som finns tillgängliga för byggsektorn och som används vid utformningen av byggnader så att övertemperaturer hålls rimliga. Kunskapssammanställningen ska ge en klarare bild över:

- Vilka historiska klimatdata som finns och hur de kan användas för att bestämma övertemperaturer i byggnader?
- Hur lokala variationer i klimat rumsligt och tidsmässigt kan hanteras ?
- Hur kan framtida klimatutveckling inkluderas med tanke på att byggnader kanske står i 100 år och inneklimatsystemen har en livslängd på kanske 30 år?
- Vikten av att tydliggöra hur klimatdata väljs med hänsyn till övertemperaturer inomhus.

Under alla punkter fokuseras på nuläge nationellt men nuläget internationellt beaktas också och möjligheter och behov av forskning eller utveckling. Delar som berörs i denna rapport är:

- De historiska klimatdata och klimatfiler som finns
- Hur klimatfiler tas fram
- Vilka metoder som används för att beskriva klimatet i klimatfiler
- Vilka aktörer som tillhandahåller klimatdata och klimatfiler
- Vilka aktörer som forskar och utvecklar klimatdata och klimatfiler samt modellering för att beskriva klimatlaster för simulering och verifiering av byggnader.

1.3 Genomförande

Arbetet har genomförts av en arbetsgrupp som tillsammans representerar både bred och djup kompetens inom området. Tiden för genomförandet har varit relativt kort.

1.4 Till dig som läsare

Den här rapporten presenterar en översiktlig sammanställning av kunskap och erfarenheter. Rapporten är resultatet av författarnas analyser och utredningar. Målgruppen för rapporten har varit Boverket. Boverket har inte tagit ställning till innehållet.

Kapitel 4 presenteras på engelska. Forskningen inom området görs på engelska och det finns risk att en översättning till svenska skulle sänka kvaliteten på innehåll och resonemang.

2 Klimatdata och klimatfiler

Det är lämpligt att börja med att förtydligabetydelsen av orden väder och klimat. I rapporten beskrivs olika sätt att behandla väderdata, klimatdata, klimatfiler och underlag för analyser av normala och onormala/extrema förhållanden när det gäller väder/klimat i framtiden.

Väder beskriver i grunden hur atmosfären beter sig, främst med avseende effekter på liv och mänskliga aktiviteter. Vädret beskriver de kortsiktiga (minuter till månader) förändringar i atmosfären i termer av temperatur, luftfuktighet, nederbörd, molnighet, ljusstyrka, sikt, vind och atmosfäriskt tryck, som i hög- och lågtryck.

I klimatologins begreppsapparat som standardiseras av WMO (World Meteorological Organization) beskrivs nuvarande klimat per definition av senaste Standard normalperioden som är 1991–2020. Och när historiskt klimat beskrivs används i första hand någon av standardnormal perioderna 1981–2010, 1971–2001, 1961–1991, osv.

Inom forskning finns flera definitioner kopplade till väder och klimat. I bilaga 1 finns en lista med ett urval av klimatfiler som används.

2.1 Målet med klimatdata

Klimatdata används för bedömningar och simuleringar av energianvändning, värmeeffekt, fuktsäkerhet, kyleffekt, övertemperatur, vattenbelastning, etc. Här följer en översikt av hur klimatfiler används inom byggnadssektorn.

Klimatdata kan enkelt beskrivas som data om uteklimatet: temperatur, relativ fuktighet, vindriktning, vindhastighet, nederbörd, solstrålning (direkt och diffus), molnighet och ibland himmelstemperatur. Traditionellt utgörs klimatdata av uppmätta och därmed historiska data, som beskriver hur det har varit. Dessa data utgörs i Sverige oftast av SMHI:s mätningar som typiskt är timvärden, 3-timmarsvärden eller dygnsvärden (nederbörd). Klimatdata tas fram för många olika tillämpningar såsom att beskriva klimatförändringar, göra analyser av framtida vattenkraft eller som i denna rapport för att göra olika beräkningar för byggnader. Olika krav från myndigheter och beställare gör att olika beräkningar måste göras. Dessa beräkningar kräver i sin tur klimatdata i olika former. Ibland används uttrycket väderhändelser, och väderhändelser kan beskrivas med hjälp av klimatdata vilket innebär att en önskad parameter kan beräknas eller simuleras vid en viss väderhändelse med hjälp av klimatdata som beskriver händelsen.

Historiska klimatdata är baserade på mätningar och inkluderar därför med nödvändighet de mätfel som varje mätutrustning är behäftad med, eller syntetisk i meningen att den beskriver något annat än en viss period i verkligheten. Exempel kan vara att klimatdatan ska syfta till att beskriva dimensionerande målparametrar och i så fall kan klimatdatan representera till exempel de kallaste timmarna under en 30-årsperiod eller något annat utan att för den skull använda alla de 30 årens klimatdata. Ett annat exempel är framtida klimat som väntas förändras på grund av global uppvärmning och andra variationer. När "normalt" klimat beskrivs uppstår ett statistiskt problem genom önskan att få med så många år som möjligt samtidigt som många år innebär att det "normala" faktiskt har förändrats. Generellt finns det tre olika situationer då klimatfiler används:

1. Beräkningar som används för att simulera ett historiskt förlopp, till exempel för att analysera om en skada kan motiveras från klimatet vid tillfället. Klimatdata för detta ändamål är mätningar som är så relevanta som möjligt för problemställningen, t.ex. en SMHI mätstation i närheten.
2. Dimensionerande beräkningar för typiska eller "normala" år som används för att uppfylla byggregler (årlig energianvändning, övertemperatur, fuktrisker etc.)

eller motsvarande. Normalår är ett speciellt begrepp som diskuteras nedan och är baserat på uppmätta data under en länge period. Även beräkningar med framtagna extrema situationer, t.ex. dimensionerande utetemperatur för uppvärmningsbehov ingår här.

3. Prognoser om framtida inomhusklimat baserade på ett förväntat väsentligt annorlunda uteklimat, t.ex. stigande medeltemperatur och nederbörd. I detta fall används mätningar indirekt tillsammans med klimatmodeller. Typiskt är att dessa modeller använder olika scenarion för att beskriva osäkerheten i t.ex. CO₂ utsläpp.

Klimatdatan har dels en upplösning geografiskt, dels en upplösning i tid enligt ovan. Klimatet är olika på olika platser, och i det ideala fallet skulle det finnas mätstationer "överallt", men i verkligheten måste de begränsas till väl valda platser. Klimatdata som SMHI mäter behandlas och kvalitetsgranskas. Beroende på tillämpningen kan olika former av medelvärdesbildning sedan göras beroende på vad målparametern kräver.

För situation 1 ovan är valet lätt vilket klimat som ska användas. Det är det klimat som bäst representerar det historiska skeendet. För situation 2 är det inte alls lika självklart. Normalår eller typiska år är begrepp som används där medelbeteendet är det viktiga för målparametern, t.ex. energianvändning över ett år. Men för andra dimensionerande beräkningar är det svårare. En "medelköldknäpp" hanteras genom framtagna data för dimensionerande utetemperatur (DUT) men för en "medelvärmebölja" eller en fuktinträngning i en tegelfasad behövs något annat. Klimatdatan som börjar med mätt data på klimatrelaterade parametrar genomgår alltså analys och omarbetning för att bli klimatdata som används som indata i olika beräkningar och datorprogram. Detta för att därefter användas för att ge svar på olika målparametrar som energianvändning, effektbehov för värme och kyla, övertemperaturer inne eller relativ fuktighet i jämvikt med olika material i en yttervägg. Det är alltså viktigt att skilja på olika förädlingsgrad eller omarbetningsgrad av klimatdata. Detta är ännu mer viktigt vid användandet av framtida klimatdata.

2.2 Energiberäkningar

Vid energiberäkningar i byggnader behövs information om de klimatparametrar som påverkar effektbalansen i en byggnad samt byggnadens energiförsörjningssystem och ventilationsaggregat. Detta innebär främst utetemperatur, relativ fuktighet ute, direkt och diffus solstrålning och vind. I en gammal byggnad som håller måttlig energiprestanda och som har måttliga glasytor är utemperaturen ofta det som är klart mest drivande för effektbehovet, och då avses effektbehovet för uppvärmning när det är mer eller mindre kallt ute. I sådana fall kan enkla graddags- eller gradtimmeanalyser ge ganska korrekt resultat. Fler parametrar behövs inte, tidsupplösningen på klimatdata till beräkningen är timvis men omarbetad så att ett värde kan representera ett helt år.

Gradtimmeanalys för uppvärmning bygger på det faktum att värmeeffekt inte kan bli negativ. Gradtimmeanalys för kylning bygger på att kylenergin motsvarande sätt inte kan bli negativ. Det innebär att årlig medeltemperatur inte är tillräcklig utan det krävs högre tidsupplösning än så. Det går att jämföra en konstant utetemperatur på 20 °C med en där det är 10 °C halva året och 30 °C halva året. Gradtimmarna till en gränstemperatur av 20 °C i första fallet är 0 och i andra fallet 43 800 °C·h. Den enkla gradtimmeanalysen är framför allt framtagen för handberäkningar. Om ett beräkningsprogram används för energianalysen så används i stället timvärden för klimatet som indata. En relevant fråga är om minutvärden skulle kunna ge ökad precision.

Om kylsystem är inblandade uppstår i vissa lägen kondens som påverkar energianvändningen och som påverkas av den relativa fuktigheten ute. Variationerna här gör att det behövs timvärden.

Med energianvändning menas ofta nyckeltal som refererar till det årliga ”normala” medelvärdet av energianvändningen och då fungerar klimatdata som representerar ett år som är genomsnittligt i perspektivet att det ger genomsnittlig energianvändning. Rent konkret har normalår tagits fram av SMHI på uppdrag. Svebys filer är baserade på återanalyser av data som är interpolerad. Där interpolationen är baserad på en kombination av data från observationsstationer, satellitdata, radar-data och en numerisk vädermodell.

Metoden för att välja typiska månader har varit en ranking baserat på temperatur, luftfuktighet och solstrålning. Detta är ett rimligt sätt att ta fram ett normalår för energianvändning på, men på en mer detaljerad nivå så kommer andelen fönster, husets termiska massa och interna laster (från personer, belysning etc.) att påverka vilka år som faktiskt är ”normala”. Dvs. medelvärdet av energianvändningen över 30-årsperioden kanske inte kan representeras av det konstruerade månadsvisa ”normalåret”. Andra icke linjära påverkansfaktorer kan vara kondens och påfrysning i växlare.

Hur som helst fungerar ett normalår uppbyggt enligt ovan så länge det är genomsnittlig energianvändning i ”dagens värde” som söks. För att exempelvis göra en LCC-beräkning på en energiåtgärd så avser den en livslängd fram i framtiden, kanske 50 år, och då blir optimeringen felaktig om inte framtida energianvändning stämmer med den som används i beräkningen. De brukarrelaterade parametrar som nämnts ovan kan dessutom ändras med tiden, som exempelvis närvaro eller hushållsel, och det finns byggnadsrelaterade parametrar som kan ändras över tiden, till exempel värmeväxlarens verkningsgrad, skalets täthet eller isoleringens isolerförmåga. Dessa behandlas dock inte i denna rapport, och även om dessa bör beaktas så ger inte två fel ett rätt, och därmed måste också uteklimatet stämma så väl som det är rimligt.

2.3 Dimensionering av värmesystem - kort historik

För att beräkna eller simulera mer extrema situationer behöver klimatdata också representera dessa situationer. Till 99-percentilen av olika års risk för översvämning i ett dagvattensystem så behövs rimligen enligt Nyquists teorem åtminstone 200 års data på regn. Återigen gäller det att bestämma hur byggnad, installationer och användare använder byggnaden, men dessa parametrar är inte en del av denna rapport, och fokus är på uteklimatet. Exempel på en extrem situation är när det är som kallast, vilket ger ett behov av radiator effekter eller motsvarande för uppvärmning.

Vid analys av extrema väderhändelser använder SMHI oftast metoder från extremvärdesanalysanpassning till GEV-fördelningarna eller för Peak over threshold anpassning till Pareto-fördelningen. Skattningar blir bättre ju mer data som finns tillgängligt men det går att få användbara skattningar av 100 års händelser även om det bara finns data för 50–60 år.

En standardiserad metod för dimensionering av radiator effekter är den dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT, som beräknas med hjälp av SS-EN ISO 15927-5:2004 som medelvärdet av ”mean n-day air temperature” och ”hourly mean air temperature”. DVUT infördes i Boverkets byggregler, BBR, 2006, i samband med att BBR12 trädde i kraft. Några år senare tog SMHI fram värden för DVUT för 26 orter i Sverige, som finns publicerade i Boverkets ”Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler – utgåva 2” [2]. Tanken är att med en fysisk modell beskriva hur värmelagring och

värmetröghet i kombination med byggnadens avkylning kan ge en utetemperatur som används som en ekvivalent dimensionerande temperatur vid beräkningar.

Äldre begrepp som förekommer är DUT, LUT och EUT. DUT står för dimensionerande utetemperatur och användes som krav och begrepp för beräkning av maximalt värmeeffektbehov till och med Svensk Byggnorm 67, BABS 67. LUT står för dimensionerande lägsta utetemperatur och användes från och med SBN 75 till och med SBN 80. EUT, extrem utetemperatur, är ett annat krav på värmeeffektbehov som kom i Nybyggnadsreglerna som gällde fram till att BBR 12 trädde i kraft då DVUT infördes.

SMHI tog 2016 fram temperaturer för 310 orter i Sverige baserat på den nya Normalårsperioden 1981–2010. De nya värdena ska ge ett mer rättvist underlag, eftersom de är uppdaterade och fritt tillgängliga samt att de finns för många fler orter än tidigare. Förhoppningsvis ersätter dessa värden företags- eller kommunspezifika värden som tidigare tillämpats. Boverket tillhandahåller via [webb](#) *Öppen data om Dimensionerande Vinterutetemperatur DVUT baserat på temperatur 1981–2010 - framtaget av SMHI 2016, på uppdrag av Boverket*. Sammanställningen omfattar 310 orter med 16 olika uppgifter (Ort, Ortnr, Latitud, Longitud, 1-dygn, 2-dygn, 3-dygn, 4--dygn, 5-dygn, 6-dygn, 7-dygn, 8-dygn, 9-dygn, 10-dygn, 11-dygn, 12-dygn)

Vid effektberäkning ska självklart den senaste statistiken användas men de gamla begreppen DUT och LUT kan fortfarande användas av branschen, främst i södra Sverige vid effektdimensioneringar av installationer, då de kallare temperaturerna ger en säkerhetsmarginal på växlare, värmare, radiatorer och konvektorer. Även EUT1 och EUT5 används fortfarande av relativt många fjärrvärmeverk för dimensionerande effekt i fjärrvärmenät.

Praxis innebär ofta att utgå från att byggnaden är tom på persontillskott och andra laster är avstängda, men passivhuseran hade ansatsen att interna laster skulle vara i gång. Frågan är i vad mån DVUT ger en "lagom" risk för att det blir för kallt, speciellt om den globala uppvärmningen minskar risken. Det är möjligt att skilja på allvarliga risker som att batterier fryser sönder eller något annat förstörs, och att det blir för kallt. Traditionen har alltid varit att det knappt får bli för kallt någon gång på åratals även om det inte sker någon skada och ofta kan kompenseras enkelt med billiga direktelkomplement som värmefläktar eller liknande. Däremot är det inget som helst problem att acceptera att det blir för varmt många timmar varje år. Till detta perspektivs fördel är dock att värmeeffekt är betydligt billigare att installera än kyleffekt.

Andra länder har också haft helt andra förhållande till risken med försörjningsavbrott som elavbrott eller liknande jämfört med Sverige där det knappast tas någon hänsyn till det. Det har till exempel gjorts en del forskning på Grönland [3] och i Alaska om hur bostäder hanteras om/när det blir försörjningsavbrott.

DVUT är en förenkling. För att bäst kunna bedöma möjligheten att upprätthålla rätt innetemperatur behövs bättre upplöst klimatdata som tar hänsyn till det antal år som ska betraktas och dessutom hanterar förändringar över tid.

2.4 Dimensionering av kylsystem

Kylsystem skiljer sig från värmesystem genom att installerad effekt är betydligt dyrare och att traditionen saknas vad gäller bostäder. I länder som traditionellt i modern tid kyler sina byggnader är ofta innemiljön ganska bristfällig med mycket drag och ljud i byggnader med ganska låg prestanda, men även detta förbättras, och i en modern kontorslokal skapas bra inomhusklimat.

Det skulle kunna finnas en DSUT, dimensionerande sommarutetemperatur, men det uppstår ytterligare komplikationer jämfört med DVUT genom att det blir beroende av många osäkra indata som närvaro och interna laster från utrustning och sol. Det går troligen att skapa en DSUT som ändå är en betydande hjälp jämfört med att inte ha något alls i att bestämma ett kylsystems nödvändiga effekt och basera det på ett valfritt antal års extremvärden.

Precis som vid värmeeffektdimensionering ger bättre upplösta klimatdata större möjlighet att avgöra längden för period med bortfallsrisk och hur effekten faktiskt behövs över tiden. Kanske är det av intresse hur stor effekt som behövs till kylmaskiner i januari, eller för den del hur mycket värme som behövs i oktober och inte bara högsta effekten under ett lagom antal år, och då är inte DVUT eller en tänkt DSUT tillräckligt. Att räkna igenom åtminstone ett år med en normal kontorsdator är inga problem idag och därmed går det att hävda att så förenklade metoder som DVUT eller DSUT inte är nödvändiga eftersom den trots allt ger ganska begränsad information.

Ytterligare ett dimensioneringssätt som har förekommit, för kyleffekter, men också för värmeeffekter, både i Sverige och söderut i Europa har varit att helt enkelt ange ett effektbehov per golvarea. Detta saknar direkt källa men är en erfarenhet från ventilationsindustrins arbete med produkter i olika länder. Detta är givetvis ganska trubbigt, men för att vara på säkra sidan kan det fungera, och vad gäller kyleffekter så inverkar vädervariationer relativt sett mindre än för värmeeffekter, speciellt i nordeuropeiskt klimat. Det kan bli drygt 30 °C och solsken från klarblå himmel. Till detta kommer interna laster som inte beror på klimatdata. Dessutom kan byggnaden variera, och fönsterriktningar och en del annat, men genom att utgå från vad som är "normalt" och ambitionen att vara på säkra sidan fungerar det ändå. Vad gäller värmeeffekter kan det bli cirka -30 °C vilket innebär 50 K skillnad jämfört med kylfallets 10 °C, vilket innebär att isolering i byggnadsskal, läckage etc. påverkar mycket mer. Siffror från industrin för tio år sedan kunde vara i storleksordningen 80 W/m² för kyla i Mellaneuropa och 40 W/m² i Sverige. Detta ger för små anläggningar i vissa fall och hängsle och livrem i andra fall.

2.5 Dimensionering med hänsyn till övertemperaturer

Om det inte finns något kylsystem och det är varmt ute så blir det en fråga om övertemperaturer som uppstår i olika omfattning och tidsperioder. Hur stora dessa är liksom längden och hur ofta de inträffar påverkar bland annat komfort, produktivitet och hälsorisker. Det är av vikt att simulera detta för nya byggnader, speciellt för att undvika behov att eftermontera kylsystem. Det går då inte att med ett kylsystem i tillräcklig storlek skaffa sig marginal mot felberäkningar vid projekteringen eftersom de olika sätten som finns att ta till för att försöka undvika övertemperaturer är på gränsen till att vara tillräckliga. Exempel är solavskärmning, fönster med låga g-värden, olika sätt att styra ventilationen, nattkyla, termisk massa och isolering. Blir det 30 °C ute på dagen och sol så blir det problem och blir det inte riktigt lika varmt ute så blir det färre problem, eller i bästa fall inga problem, men det är hårfint vilket.

Det behövs tydligare definition av övertemperatur. Parametrar som är viktiga är temperaturen inne, hur mycket för hög den är, hur länge den är för hög i sträck, när den är för hög och hur ofta detta inträffar. Konsekvensen av övertemperatur kan avse hälsorisker och det kan då innebära att acceptansen för övertemperatur kan vara ganska låg och inget som det går att kompromissa med, eller är det möjligt att väga övertemperaturer mot kostnaden att undvika dem och göra en optimering av hur mycket övertemperaturer som kan accepteras. Den senare ansatsen kräver dessutom en modell på värdet av övertemperatur.

En förenklad ansats i ett beräkningsprogram för livscykelkostnader i inneklimatsystem har tagits fram [4]. Ett syntetiskt normalår med klimatdata för sol, temperatur och relativ fuktighet räknades igenom och dels presenterades två mått på övertemperatur, dels räknades livscykelkostnaden ut inklusive påverkan från övertemperatur. De två måtten var antal timmar på ett år, alltså ett normalår, som det var över vald temperatur, samt antalet gradtimmar över denna temperatur. Antal timmar säger inget direkt om hur mycket för varmt det var medan gradtimmarna gör det. Å andra sidan finns ingen information om när detta inträffar eller hur ofta eller hur länge i sträck. Kanske är det trevligare med en timme för varmt om dagen i åtta dagar än en dag med för varmt hela dagen, kanske inte. Eller att det inträffar i juli när många har semester i stället för i september. Gradtimmar som mått innebär också att "obehaget" av för hög temperatur är linjärt med differensen mellan temperatur och önskad temperatur. Så är det nog inte. Sammanställningar som gjordes av studier visade att en kvadratisk funktion bättre beskrev produktivitetförlusten. I beräkningen av livscykelkostnaden inklusive förluster på produktiviteten utgicks det från en modell av produktionsförluster som funktion av temperaturen baserad på dessa gjorda studier och det kunde exempelvis resultera i om det lönade sig med kylsystem eller inte. Fokus var lokaler och det kan vara svårt att värdera temperaturen inne i bostäder. Dessutom var modellen som sagt kvadratisk, vilket innebär att medelvärdet av för hög temperatur inte ger rätt resultat. Inte heller blir det rätt resultat att ta ett normalår eftersom varmare år påverkar beräkningen mer än om det hade varit linjärt jämfört med kalla år. I detta fall användes Meteororm [5] för att generera normalår.

Slutsatsen av de förenklade ansatserna visar just att det gäller att bestämma vad som är övertemperaturer, hur farliga de är och att ställa frågan hur lång period slutsatsen ska avse [4]. Här användes ett normalår. Beräkningen kunde också gjorts på 30 år, men då hade normalklimatet ändrat sig med tiden. Eller med ett konstruerat extremår som representerar information från ett önskat antal år. Observera att meteorologer och inom klimatologin definieras normalår över en 30-årsperiod, som beskrivits tidigare, och det är inte 15 år tillbaka i tid och 15 år i framtiden utan alltid baserat på mätningar av väder, dvs. en 30-årsperiod. Därför är det lämpligt att beskriva underlaget för analyser som baseras på andra tidsperioder

Det går att tala om 100-årsstormen, likväl som om 100-årsinneövertemperaturen, inte att förväxla med 100-årsutemperaturen. Nu kan installationer tänkas hålla 30 år snarare än 100 år, men å andra sidan är det kanske andra byggnadskomponenter som ska skydda mot övertemperaturer än installationerna, om det inte finns kylsystem. Fortsättningen på denna rapport tar sig an frågeställningarna om klimatdata för att beräkna och simulera övertemperaturer i byggnader.

3 Övertemperaturer

3.1 Övertemperaturer, höga innetemperaturer

Det termiska inomhusklimatet kan ses som en kombination av de fysiska betingelser kopplade till temperatur som uppstår i en byggnad. Upplevt termiskt inomhusklimat innebär att människans upplevelse av den fysiska miljön adderas till det termiska inomhusklimatet. Byggnader ska designas så att den termiska inomhusmiljön upplevs bra för de som förväntas vistas där.

3.1.1 Bedömning av inomhusklimat och övertemperatur

Upplevelsen av inomhusklimatet är delvis subjektiv men kan självklart också kopplas till människans fysikaliska värmebalans. Detta samband som kopplar ihop exempelvis lufttemperatur och människans aktivitet och klädsel beskrivs mer ingående i rapporten *Termisk komfort - en kunskapssammanställning* [6]. Värmebalans kan också beskrivas matematiskt och utifrån denna har en empirisk 7-punktskattning, PMV (Predicted Mean Vote), av komfort för inomhusklimatet tagits fram [7] vilken tillämpas i internationella standarder (SS-EN ISO 7730:2006) och ASHRAE. Detta verktyg lämpar sig väldigt väl vid dimensionering av byggnader för att redan i designskedet kunna uppskatta hur hög andel av de som förväntas använda byggnaden som kommer att vara missnöjda med inomhusklimatet och således anpassa designen av byggnad och dess installationstekniska system för att hålla andelen missnöjda på en låg nivå.

Den kritik som ofta riktas mot verktygen är att de framför allt är framtagna för uppvärmningssäsongen och en viss del av världen. En av de viktiga indatavariablerna som påverkar det termiska inomhusklimatet med avseende på övertemperatur är utomhusklimatet, i alla fall om man har en byggnad utan aktiv kyla. Med fungerande aktiv kyla påverkas i stället energianvändningen. När det inte finns aktiv kyla har flera studier föreslagit och visat att en mer adaptiv komfortmodell bättre speglar upplevelsen av det termiska inomhusklimatet. De har också påvisat att den också varierar i olika delar av världen. Utomhustemperaturen magnitud kopplas till acceptansen av det upplevda termiska inomhusklimatet och har kopplats ihop med PPD i europastandarden (SS-EN 16798-1:2019). Ett problem med att använda detta förfarande vid analys av höga temperaturer är att temperaturvärdena förväntas gälla under jämviktsförhållanden, det vill säga fränkopplade med avseende på tid, eller med frekvensen de uppkommer.

Ett annat vanligt förekommande index vid utvärdering av termisk komfort är Standard effective temperature (SET). Det etablerades på 1980-talet baserat på en två-nodsmo- dell som återspeglar och kopplar ihop den termiska regleringen i en människokropp, med värmeutbytet från huden med dess omgivning [8]. Jämfört med PMV-modellen vilken vanligtvis används i termisk miljöutvärdering återspeglar SET-modellen den fysiologiska regleringsmekanismen för människokroppen och värmeutbytet med omgivningen på ett mer korrekt vis. Den är också bättre än den adaptiva termiska komfortmodellen som bara återspeglade förhållandet mellan jämviktstemperaturen och utomhustemperaturen men utan hänsyn till övriga parametrar [9]. Vidare kan den termiska komforten om temperaturerna blir för höga i stället övergå i termisk stress. Denna utvärderas med exempelvis Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) som är ett värmestressindex som är lätt att använda och representerar den termiska miljön som en individ utsätts för. WBGT används både för yrkesmiljöer inomhus och utomhus och inkluderar temperatur, luftfuktighet, vindhastighet och värmestrålning (SS-EN ISO 7243:2017). Den internationella standarden för WBGT använder en formel baserad på mätningar av tre variabler, lufttemperaturen mätt med en skärmad

termometer, medelstrålningstemperaturen som representerar värmestrålningsinmatningen och den våta lufttemperaturen, som mäts med en våt trasa över sensorn, påverkar möjligheten för svettavdunstning kopplat till värmeförlust och vindhastighet. Indexet kan justeras för att ta hänsyn till kläder och metabolism. Temperaturgränser för termisk stress finns i intervallet 20–33°C beroende på aktivitet och nivå av acklimatisering.

Predicted Heat Strain (PHS) (SS-EN ISO 7933:2004) är ett av de vanligaste indexen för utvärdering av termiska miljöer och relaterad fysiologisk belastning baserat på värmebalanskvationen och är också en internationell standard. I den modellen beräknas tiden när kärnkroppstemperaturen och svettförlusten når kritiska nivåer och inkluderar alla faktorer som påverkar mänskligt värmeutbyte. Denna kan både beräknas utifrån simuleringar och från uppmätta data. I kontexten att koppla den fysiologiska belastningen till en fysiskt upplevd inomhusmiljö ligger problemet att välja rimliga tröskelnivåer gällande när temperaturen blir för hög. I en kanadensisk [10] studie kombineras SET och PHS för olika grupper av människor för att utvärdera detta. Ett problem som ofta finns är aspekterna exponeringstyngd och exponeringsintensitet vilka är kopplade till en gränstemperatur. I denna studie visas att exponeringstyngden, antalet gradtimmar (°C·h) över en vald tröskelnivå bäst korrelerar med risken för uttorkning och att exponeringsintensiteten (ΔT) i °C över tröskelnivån korrelerar med risken för att kroppstemperaturen blir för hög.

3.1.2 Tröskelnivåer för och hälsoeffekter av övertemperatur

En tröskelnivå behöver bestämmas för att utvärdera om, kopplat till hur mycket, och när de överskrids och utifrån någon form av sannolikhetsbedömning avgöra när det kan tillåtas ske. Dvs. göra en kvalificerad bedömning om det behövs aktiv kyla, om det är ok att tillåta en viss överskridning av gränserna eller om det är direkt hälsofarligt. Det har visats att flera hälsoproblem och sjukdomar har varit direkt kopplade till dålig termisk komfort och överhettning i bostäder. I en granskning av organisationen Zero Carbon Hub i syfte att undersöka effekterna av övertemperatur i bostäder, delades konsekvenserna av övertemperatur upp i kategorier 1) värmerelaterad dödlighet och sjukdomar samt 2) sömnbrist. [11]

När temperaturen i en byggnad stiger, antingen till följd av yttre omständigheter i form av en oförutsedd värmebölja eller på grund av dålig ventilation eller byggnadens tekniska egenskaper, kan den till slut nå nivåer som påverkar människor negativt (PHS) vilket gör att kroppens värmereglerings- och acklimatiseringsförmåga påverkas och försämras kraftigt. Vilket betyder att kroppen inte längre kan behålla sin kärntemperatur [12]. Exponering för höga temperaturer har flera effekter på människors hälsa såsom uttorkning, värmesynkope, värmeutslag, värmestress och ödem [13] tillsammans med en minskning av produktivitet och koncentration [14]. Vidare visas att höga temperaturer kan leda till uppkomsten av dödliga värmeslag när kroppstemperaturen överstiger 39,5 °C och utlöser kollaps av viktiga kroppsfunktioner. Ett värmeslag kan leda till döden inom några timmar [15]. Under den extrema värmeböljan 2003 registrerades minst 70 000 dödsfall i Europa på grund av värmerelaterad dödlighet [16].

Det finns undersökning som visar att högre temperaturer, till och med i moderat form, i sovrum under natten kan kopplas till sömnstörningar eller sömn av låg kvalitet [17]. Kontinuerlig sömnbrist kan leda till olika hälsoproblem, ångest och minskning av det övergripande välbefinnandet och produktivitet.

Studier har visat att flera grupper är mer sårbara för värmestress än andra grupper. Personer över 60 år och de som lider av fetma, hjärt- och kärlsjukdomar, diabetes och andra kroniska sjukdomar anses vara särskilt utsatta och mer mottagliga för

värmerelaterade sjukdomar, särskilt eftersom de tenderar att spendera mer tid inomhus och har en stillasittande livsstil [18]. I en åldrande befolkning och med värmeböljor som blir vanligare i framtiden förutspås ökande hälsorisker. Små barn och spädbarn anses också vara en högriskgrupp eftersom deras kroppar inte klarar av höga temperaturer och lätt kan bli uttorkade och trötta vilket leder till värmekramper, allvarliga värmeslag och värmeutmattning [19]. I en studie i Tyskland har människors subjektiva upplevelser av värmestress påvisats vara kopplade till sårbarhet i olika former [20].

Det finns fortfarande otillräckliga data om tröskelvärden över vilka negativa hälsoeffekter börjar inträffa, men gränsvärdena tenderar att variera kring 26 °C med olika mått på exponering. Några exempel på sådan redovisas nedan.

3.1.3 Svenska krav om övertemperatur

I Sverige föreskriver Folkhälsomyndigheten att det är olämpligt med långvarig inomhustemperatur över 26 °C och kortvarig över 28 °C under sommaren men specificerar inte mer än så [21]. Även arbetsmiljöverket har föreskrifter om temperaturer [22]. Forumet för energieffektiva byggande (FEBY) som är svensk organisation som driver och stödjer hållbara lågenergi- och passivhus är mer precisa i sin kravspecifikation med riktlinjer för hantering av termisk komfort i energieffektiva bostäder. När det gäller övertemperatur bör inomhustemperaturen under perioden april till september inte överstiga 26 °C under mer än maximalt 10 % av tiden [23]. Passivhusinstitutet (PHI) definierar gränsen för övertemperatur på liknande vis med att inomhustemperaturen inte får överstiga 25 °C under mer än 10 % timmarna på året som bostaden nyttjas.

3.1.4 Krav om övertemperatur internationellt

I Storbritannien finns en liknande ansats men är mer restriktiv och riktar även in sig på specifika rum och tiden på dygnet. Där får inte den operativa temperaturen överstiga 26 °C mer än 1 % av nattetiden i sovrum och 28 °C 1 % i andra rum. [24]

U.S. Green Building Council (USGC) antog en gräns för övertemperatur kopplat till byggnadens passiva termiska motståndskraft i nödsituationer så som strömavbrott. Standard Effective Temperature (SET) används och kravet är byggnadssimulering för att visa att en byggnads inre miljö kommer att bibehålla acceptable temperaturer under ett strömavbrott som varar i sju dygn under högsommartid ett typiskt år. Vidare, för bostadshus bör SET inte överstiga 30 °C under mer än 120 °C·h under en vecka.

I Tyskland finns tröskelvärden i form av acceptabla nivåer för timmar över en viss inomhustemperatur beroende på typen av byggnads (1 200 °C·h per år för bostadshus och 500 °C·h per år för lokaler) och vilka också kopplar till en gränstemperatur som beror på klimatregion (t.ex. 25 °C för klimatregion A, 26 °C för klimatregion B och 27 °C för klimatregion C [20]).

I Danmark är gränsen konstruerad på liknande sätt där inomhustemperaturen inte får vara över 27 °C mer än 100 timmar eller mer än 25 timmar över 28 °C [25].

I Finland finns ett kriterium för antalet gradtimmar, där den tillåtna gränsen är 150 °C·h över 27 °C under sommarmånaderna juni–augusti [26].

Det behövs generella riktlinjer för hur utvärdering av risken för övertemperatur ska utföras genom antingen mätning eller datorsimuleringar. Riktlinjerna bör inkludera extrema klimatdata för sommarsäsongen och tydliga procedurer för fältmätning eller simulering av byggnaden i förhållande till möjliga brukarbeteenden. Viktiga aspekter är zonindelning av byggnader för att skilja på olika rum, användningen av byggnaderna (t.ex. närvaro, aktivitetsnivå, kläder), start- och slutdatum för uppvärmningssäsongen

som en funktion av det lokala klimatet. Ett exempel från Sverige är den varma sommaren 2018 som använts som indata vid simuleringar och visat att det inte är möjligt att hålla acceptable inomhustemperaturer [27].

3.2 Vägledningar om inomhusklimat och övertemperatur

Detta avsnitt summerar och exemplifierar kort tillgängliga vägledningar på rörande inomhusklimat och termisk komfort i Sverige. Hänvisningarna redovisas i tur och ordning för:

- Myndigheter
- Branschorganisationer
- Standarder beträffande termisk komfort och värmestress

Redovisningen innefattar vägledningar som riktas till olika målgrupper, exempelvis beställare/byggherrar, konsulter, entreprenörer, tekniska fastighetsförvaltare, driftorganisationer, verksamhets/arbetsmiljöansvariga, miljö- och hälsoskyddsinspektörer. Redovisningen är inte indelad med hänsyn till avsedd målgrupp. [6]

3.2.1 Vägledning från myndigheter

Arbetsmiljöverket

Arbetsmiljöverkets web-portal har en sektion med vägledning inriktad på inomhusmiljö. Där finns en sektion som specifikt behandlar temperatur och klimat. [Temperatur och klimat.](#)

Föreskriften *Arbetsplatsens utformning* (AFS 2020:1), innehåller föreskrifter om temperaturer [22].

Boverket

PBL kunskapsbanken är Boverkets handbok till plan- och bygglagen. Handboken är webbaserad och sökbar. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/>.

Boverket tillhandahåller via sin web Öppna data - Dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT 1981–2010) för 310 orter i Sverige - Indata till beräkningar som utgörs av en ”griddad” meteorologisk temperaturanalys, med en optimal viktning av olika datakällor i kombination med den lokala topografin.

[Boverkets klimatdatabas](#) innehåller information om byggprodukters miljöpåverkan (klimatdata definieras som: *utsläpp av växthusgaser uttryckt i kilogram koldioxidekvivalenter per enhet resurs*) och inga metrologiska data!

Folkhälsomyndigheten

På Folkhälsomyndighetens webbsida ger återfinns vägledning för bedömning av termiskt inomhusklimat och temperatur. [Termiskt inomhusklimat och temperatur.](#)

Föreskriften *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur* (FoHMS 2014:17) innehåller föreskrifter om temperaturer [21].

Folkhälsomyndigheten har också vägledning till handlingsplaner för att hantera hälsoeffekter av värmeböljor: [Att hantera hälsoeffekter av värmeböljor.](#)

Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB är en expertmyndighet som arbetar för ökad säkerhet i samhället. MSB har t.ex. en hemsida inriktad mot [värmebölja](#). MSB startade 2022 ett projekt för att ta fram en karttjänst inklusive en nedladdningstjänst som innehåller en nationell kartläggning av områden med risk för höga temperaturer vid värmebölja. Temperaturdata hämtade från

satelliterna Landsat 8 och 9 samt Sentinel 3 för perioden 2017–2022 ska presenteras som en kartjänst av markytans temperatur nationellt över alla markytor förutom ytvatten.

Länsstyrelserna

Länsstyrelserna ger tillsynsvägledning till kommunernas byggnadsnämnder. Syftet är att tillsynen ska bli så effektiv och enhetlig som möjligt. Länsstyrelsen och Boverket ansvarar tillsammans för att samordna arbetet med tillsynsvägledning till byggnadsnämnder. Länsstyrelserna tillhandahåller handläggarstöd och mallar för den kommunala handläggningsprocessen. Se exempelvis [Tillsynsvägledning för byggnadsnämnder](#).

Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2019) har tagit fram ett informationsblad: Vägledning värmebölja [Vägledning värmebölja](#).

SMHI

SMHI levererar information och prognoser om väder, vind och temperatur. På en av SMHI:s hemsidor informeras om Varningar och meddelanden för bland annat höga temperaturer. [Varningar och meddelanden](#).

Följande myndigheter har också vägledningar som berör inomhusklimat:

- Kemikalieinspektionen
- Livsmedelsverket
- Socialstyrelsen
- SKR - Sveriges kommuner och regioner

Upphandlingsmyndigheten

Upphandlingsmyndigheten har krav på inomhusklimat. I dessa beaktas även effekter av ett förändrat klimat. Kraven är ett stöd till offentliga fastighetsägare och är utformade för att passa projekt för flerbostadshus och boenden, skolor, förskolor, idrottshallar, kontor och liknande lokaler. Kraven är utformade så att de går att använda i upphandlingar av olika typer av konsultuppdrag och entreprenader samt är utformade för nybyggnation och ombyggnation.

Upphandlingsmyndigheten har även sådana krav på Byggnadens värme- och energianvändning samt på Energi- och dagsljusutredning av fönster och glaspartier. I dessa krav tas även risker för övervärme och kylbehov in, solvärmelast samt inomhusklimat med. Kraven ska alltså samspela och kunna användas tillsammans med myndighetens inneklimatkrav. Upphandlingsmyndigheten har även krav på och en vägledning för luftfilter.

3.2.2 Andra vägledning för termisk komfort

Ett dimensioneringsunderlag som används i branschen är *VVS 2000 tabeller och diagram. Meteorologi och klimatologi* [28]. I skriften finns tabeller med uppgifter om t.ex. temperatur och relativ fuktighet, solstrålning och molnighet, vind, nederbörd och snötäcke, marktemperaturer, dimensionerande temperatur vintertid, dimensionerande temperatur sommartid, varaktighet för uteluftens temperatur och värmeinnehåll samt temperatur och solstrålning under varma perioder. Till exempel har tabell 8:5 rubriken *Summa gradtimmar per år vid uppvärmning till viss temperatur samt drifttid för värmeanläggning*.

Det är viktigt att tänka på att klimatförändringen har påverkat olika parametrar olika mycket och generellt är data i VVS-handboken inte representativt för nuvarande klimat.

AIVC

AIVC (Air infiltration and Ventilation Centre) är IEA:s (International Energy Agency)

informationscentrum för luftkvalitet och energieffektiv ventilation. AIVC publicerar forskningsresultat, tekniska rapporter och vägledningar inom termisk komfort.
<https://www.aivc.org/resources/collection-papers/aivc-publications>

En standard från ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) av intresse inom området är:

- ASHRAE 55, 2020. Thermal environmental conditions for human occupancy

Fuktcentrum

Fuktcentrum tillhandahåller klimatfiler med uppmätt timvis data för en kontinuerlig 9-årsperiod (1990–1999) för Borlänge, Luleå, Lund och Stockholm.

REHVA

REHVA, (Federation of European Heating, Ventilation and Air conditioning Associations) ger ut guideböcker om inomhusmiljö och utformning av system för värme, ventilation och luftkonditionering, t.ex.:

- REHVA Guidebook no. 29 Quality Management for Buildings

Sveby

Sveby tillhandahåller klimatfiler med klimatdata för året 2016 via sin hemsida. Klimatdatafilerna har tagits fram i samarbete med SMHI.

3.2.3 Miljömärkningar och miljöcertifieringssystem

Miljöcertifiering av byggnader är ett verktyg som används på frivillig basis för att kommunicera byggnaders miljöprestanda och för att prioritera de mest effektiva miljöåtgärderna under projekteringen. Det finns flera certifieringssystem i världen som var och ett baseras på de miljömål som respektive ägarland brottas med. I Sverige är de vanligaste internationella systemen BREEAM och LEED. Det brittiska certifieringssystemet BREEAM har funnits i cirka 30 år och LEED ca 20 år. Även om systemen har olika ursprung används de runt om i världen. Miljöbyggnad är ett svenskt certifieringssystem som ofta används.

I certifieringssystemet BREEAM går det att certifiera och få betyg för framtidssäkrad byggnad gällande framtida klimatförändringar och termisk komfort. Beroende på typ av ventilationssystem ska prognostiserat uteklimat användas, för olika antal år framåt i tiden, vid dimensionering. Byggnader som byggs utan komfortkyla ska genom byggnadens utformning och system uppfylla termisk komfort enligt ISO 7730 vid det klimatet som beräknas finnas om 50 år. För byggnader med komfortkyla ska termiska komforten uppfyllas för ett klimat om 15 år. De olika tidshorisonterna avser att förbereda byggnaden för ett framtida klimat och att kunna möjliggöra eventuella ombyggnader för att minska värmebelastning och bygga ut kylkapacitet. Tidsgränserna baseras på engelska certifieringskraven och nationella förutsättningar.

De framtida klimatdata som BREEAM hänvisar till i gällande manual är till engelska förutsättningar men i remiss till ny version av manual kommer hänvisning göras till vädersajt (www.weathershift.com) där även svenska framtida klimat finns. Dessa klimat baseras inte på SMHI:s data vilket tillsammans med analysmetoden ger en osäkerhet med jämförelse av klimat. Detta kommenteras i kapitel 4.1.

3.2.4 Certifieringssystem och termiskt klimat

I Miljöbyggnad fanns tidigare krav att myndighetskrav på termiskt klimat är uppfyllda. I den senaste till remissen till förändring av Miljöbyggnad, till Miljöbyggnad version 4.0, föreslås att kriterier som har påverkan för inomhusklimat tas bort. Dessa är kriterier för dagsljus, ventilation (och radon). Tidigare krävdes kontroll av att rekommendationer

från Folkhälsomyndigheten för bostäder och allmänna utrymmen och från Arbetsmiljöverket för arbetsplatser ska visas vara uppfyllda. För att godkänna den preliminära certifieringen på projekteringshandlingar skulle simuleringar av aktuellt termiska klimat redovisas i de mest kritiska rummen och det skulle ske enligt ISO 7730. Ju högre betyg som eftersträvas desto lägre PPD-index vid DVUT skulle simuleringar för de mest kritiska rummen i byggnaden visa.

I BREEAM ska det termiska klimatet simuleras och PMV- och PPD-index ska redovisas i enlighet med ISO 7730. För att erhålla en poäng ska kategori B på inneklimatklass enligt samma standard uppfyllas. För två poäng ska dessutom effekter på det termiska klimatet orsakade av förväntad klimatförändring redovisas eller visa hur den befintliga lösningen kan anpassas för att uppfylla kraven. För ytterligare poäng ska krav på termiska zoner och brukarstyrning uppfyllas. BREEAM har "2020 and 2050 weather files" och behandlar HEA 04 Thermal comfort under den övergripande rubriken Health and Wellbeing.

3.2.5 Simulering av inomhusklimat

För en beskrivning av simuleringar av inomhusklimat och temperaturer hänvisas till Ekberg et al. [29] och Bülow-Hübe et al. [6]

3.3 Behov av vägledning

Det finns ett stort behov av vägledning om analyser med hänsyn till framtida klimat för konsulter inom byggsektorn.

4 Klimatfiler och klimatmodeller med tanke på övertemperaturer

Detta kapitel presenteras på engelska. Forskningen inom området görs på engelska och det finns risk att en översättning till svenska inte skulle bibehålla kvaliteten på innehåll och resonemang.

4.1 Future climate data

Impact assessment of climate change is usually performed by means of the climate data generated by global climate models (GCMs) - also known as the general circulation models. GCMs contain atmospheric model, ocean model, land surface scheme and the sea ice model and simulate climatic conditions under different initial and boundary conditions such as emissions scenarios. GCMs simulate future climatic conditions for the spatial resolution of 100–300 km² [30] which cannot be considered as weather and is coarse for the purpose of impact assessment. The impacts of a changing climate and the consequent adaptation strategies to deal with occur on the regional and national scales, where regional climate downscaling (RCD) provides projections with much greater detail and more accurate representation of localized extreme events [31]. More than having coarse spatial resolutions, direct use of the GCM output in impact assessment is not recommended due to recognized biases [32, 33]. Therefore, GCM outputs should be downscaled to create usable weather data sets. The two major downscaling techniques are statistical and dynamical downscaling.

One well-known statistical technique is morphing [34] which combines present-day observed weather data with the GCM results (e.g. used in WeatherShift Tool). Climate projections show changes in both average conditions and variability, including changes in the frequency and magnitude of extreme events. Morphing technique however reflects only changes in the average weather conditions and neglects changes in future weather sequences. For example, since monthly GCM values are usually used in the morphing technique, it is not possible to see changes in extreme climatic conditions for the morphed data, though extremes will be more frequent and stronger in the future [35]. The morphed weather data are likely to underestimate the impacts of climate change [36].

Another downscaling approach is using stochastic weather models which are based on a statistical analysis of recorded climate data. The models can derive all other weather variables using the inputs of just a few independent weather variables (e.g., solar radiation). For example, Meteororm software is a weather generator that uses the interpolation of the principal weather variables. It provides weather variables as monthly and yearly long-term means and data time series at the hourly and minute time resolution are generated stochastically and correspond to typical years [37].

Future regional and distributional shifts are diverse and dependent to the period (e.g., the considered season), regions and considered phenomena [38, 39]. Dynamic downscaling of GCMs by means of regional climate models (RCMs) has the advantage of generating physically consistent data sets across different variables [40, 41]. RCMs provide weather data with suitable temporal (e.g., down to 15 minutes) and spatial resolutions (e.g., down to 2.5 km²) for direct use in building and energy simulations (e.g. [42]).

A hybrid approach can, in some cases, be used to reduce the computational resources and storage space required in dynamical downscaling. It is commonly called hybrid downscaling, the outputs of an RCM being stored at a coarse spatial and temporal resolution and further downscaled using statistical methods. For example, the climate

projections for the UK (UKCP09) provide future weather data monthly at a spatial resolution of 25 km². This data is then statistically downscaled to the hourly and/or daily temporal resolution at a 5 km² spatial resolution [37].

It is not possible to rely on short time spans when dealing with future climate scenarios and time spans of 20 to 30 years should be considered. Moreover, there are different uncertainties which affect the simulated climate data, such as the selected GCM, RCM, emissions scenario, and spatial resolution [38]. Hence a valid impact assessment should consider several scenarios and it is not possible to rely on few climates' scenarios [43-45]. This creates the challenge of dealing with large data sets and uncertainties, which has been discussed thoroughly in some previous works (e.g. [38, 46]).

4.2 Weather files for building simulation – past climate

Synthesizing weather data sets for energy simulations has a long history and several techniques have been developed, which some have been inspiring for creating typical future weather data sets (e.g. [34, 47]). The advantage of using typical/representative weather years is reducing the computational and data handling efforts by using one year, representing all the years in a long period (usually 30 years). Besides, a consistent form of weather data is ensured so that results from different studies can be compared [48]. Several techniques are available to create typical or reference weather files for energy simulations which Chan et al. [49] have provided a review of some of the most important ones. Creating typical meteorological year (TMY) was introduced by Hall et al. [50], which is based on selecting typical meteorological month (TMM) for each month and concatenating them to create the weather file for one year. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) has created different typical or reference weather data sets, such as typical reference year (TRY), Weather Year for Energy Calculations (WYEC) and International Weather Year for Energy Calculation (IWEC) [51-54]. In the UK, the Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) produces two weather file sets, Test Reference Year (TRY) files for HVAC planning and Design Summer Year (DSY) files for overheating analysis [55] where pDSY is the probabilistic one.

National Solar Radiation Data Base (NSRDB) released their own TMY which is known as TMY2 [56]. Though typical or representative meteorological years facilitate energy calculations, they can have some drawbacks. For example, Hong et al. [57] studied multi-decade simulations with Actual Meteorological Year (AMY) and compared with TMY3 to assess the impact of weather on the long-term performance of buildings. They showed that energy savings and peak demand reduction can be significantly underestimated or overestimated in the case of using TMY3. Kershaw et al. [58] found that TRY in general does produce representative average data for a building in each location. They also concluded that DSY consistently underestimates the levels of human discomfort as well as overheating risk.

4.3 Weather files for building simulation – future climate

Most of the efforts for creating typical future climate files are based on extending the available approaches and applying them on the statistically downscaled GCM data. In this way, those variations and anomalies which induce more extreme conditions in future will be neglected. One approach for creating weather files is integrating the monthly mean changes from GCMs into the existing typical meteorological year by mean of morphing technique (e.g. [59]). Yang et al. [48] developed typical principal component years (TPCYs) and extended the technique to develop twelve typical principal component months (TPCMs), using only monthly data out of GCMs for five

cities in China during the 21st century. They notice the difficulties of working with future climate and mention that developing a typical weather year for future climate from a multi-year database is time-consuming or even not practicable due to the need for downloading many years of hourly/daily predictions from GCMs as well as the need for statistical analysis of the long-term frequency distributions of the meteorological variables. Huang and Hwang [60] used morphing technique to produce future hourly weather years for building simulations based on the predicted values provided by a GCM and created TMY data sets to assess human comfort. Their results have the limitations of using morphed data and only one GCM. Jentsch et al. [36, 61] developed a tool to generate future weather series under the A2 emissions scenario with TMY2 and EPW formats. As they mention, one of the major limitations of synthesized weather data is considering only one emissions scenario. Zhu et al. [62] proposed a time series forecasting method based on climate periodicity analysis and applied that to future monthly temperature prediction of Shanghai (adopting morphing technique). They established a Dual-Periodic Time Series Model (TSM) which has shown more accurate results for the recent two years than their considered GCM under RCP 4.5.

Arima et al. [63] constructed a prototype of the near-future design weather data of the 2030s. They used RCM data and selected representative weather data for the average conditions during 10-year periods among the results of downscaled weather data. Afterwards the representative data were corrected with observations to reduce bias of RCM and GCM. Wang and Chen [64] compared the projected TMY3 data using HadCM3 global model with the actual TMY3 data and applied morphing technique to create hourly weather data.

Jylhä et al. [65] performed the impact assessment of climate change by creating hourly weather data sets, using test reference years (TRYs) and considering multiple climate scenarios. In several works assessing the impact of climate change, combined with socio-economic factors, cooling and heating degree days (CDD and HDD) were calculated and applied in regression analysis (e.g. [66, 67]). Christenson et al. [68] developed heating degree days (HDD) and cooling degree days (CDD) out of monthly temperature data using several climate scenarios for different locations. They neglected the associated loss in accuracy due to using monthly temperature data. They were interested in assessing long-term changes and trends than in precisely predicting individual monthly HDD or CDD values.

The usual assumption in using degree days is that the building energy demand has a significant linear correlation with degree days and therefore suits mostly for buildings with a relatively constant internal temperature, thermal gains and building properties [62]. A method was developed for using UK Climate Projections (UKCP09) in energy simulations under PROMETHEUS project by Eames et al. [69], which is based on creating future probabilistic reference years. By generating 100 samples of 30-years on a daily time series and then using a disaggregation procedure, they produce an hourly time series for a given decade, location, and emission scenario. Although each set of stochastically produced 30 years includes natural variability, climate change signal is stationary within it. The generated weather data sets have been used in several building simulations [70] and compared against the morphed data [71]. Kershaw et al. [72] showed the application of the probabilistic reference years in risk assessment for buildings and occupants. They modelled the internal conditions and energy use of a building with all 3000 example years produced by the UKCP09 weather generator. By comparing results out of the probabilistic reference years [69], they showed that almost the full range of values predicted by the 3 000 files can be estimated using the probabilistic reference years.

Most of the above-mentioned approaches are based on statistical downscaling of GCMs and in the case of dynamic downscaling, based on the daily or monthly temporal resolution of RCMs. Many of these methods neglect the probable climatic variations in different time scales, e.g., from seasonal to hourly. In this way, it is not possible to estimate the probable extreme conditions. Kershaw et al. [72] pointed to the fact that not considering all the future scenarios results in losing critical information about the potential range of the response of buildings and of the risk occupants might be subject to. By higher availability of the hourly data out of RCMs, there will be more impact assessment using the hourly weather data extracted directly from climate models. As it was mentioned, because of the existence of several climate models/uncertainties and long-time data sets, an authentic impact assessment will be a laborious task due to generating huge data sets. When it comes to buildings and energy systems, the number of scenarios and uncertainties to be considered grow enormously which make the impact assessment more difficult.

4.4 Weather files for building simulation – typical and extreme conditions

As previously discussed, buildings should be assessed for more frequent and stronger future extreme weather conditions. It is therefore important to take into consideration these extremes, even from the early design stage. The averaging process in creating TMY files based on 20–30 years of historical data or of future generated weather data, results in a mild year that usually excludes extreme values. Moazami et al. [37] review the methods for creating typical and extreme weather data sets for building simulations. According to them, several researchers have suggested using extreme weather data sets rather than just one typical set-in building simulations, to ensure that extremes and the probable impacts of climate change are not underestimated. For example, Crawley et al. [73] propose the use of more than one weather file in building simulation. They began, in their study, with four combinations of extremes to create Extreme Meteorological Year (XMY): daily maximum, daily minimum, hourly maximum, hourly minimum for an initial set of variables of dry-bulb temperature, dew-point temperature, solar insolation, precipitation, relative humidity, and wind speed. They used two approaches to select the extreme months. Firstly, they looked at the daily maximum and minimum values for each day of the month and selected the month with the highest daily maximum value and the lowest daily minimum. Secondly, they looked at the average hourly value for the month and selected the months with the highest hourly and lowest hourly average value. Using prototype building models, they concluded that XMY based on hourly maximum and minimum dry-bulb temperature best captured the range of energy use for the XMY. They suggest that BPS users should use three weather files, one TMY and two XMYs based on hourly maximum and minimum dry-bulb temperature to induce a range of building energy performance.

Another method for generating future weather files that can represent typical and extreme weather conditions was proposed by Nik [74]. The method is based on synthesizing one typical and two extreme (cold and warm) data sets: Typical Downscaled Year (TDY), Extreme Cold Year (ECY) and Extreme Warm Year (EWY). The process for creating a TDY starts by following the method for creating a TMY file, except that just one climate variable (dry-bulb temperature) is considered in the selection of typical months instead of four. There are different reasons for this, which includes the difficulties and uncertainties in weighting the climatic variables, as climate change does not equally affect all climate variables (refer to [74] for additional details). A similar procedure is used to create ECY and EWY data sets. However, instead of

looking for the least absolute difference, the years with the maximum (for ECY) and minimum (for EWY) absolute difference are selected as the years representing the extreme temperatures for each month. Nik showed that by using the three data sets and considering TDY, ECY and EWY together (which is called Triple), it is possible to nicely estimate the future conditions and building performance, very similar to the case of considering all the RCM climate scenarios (and years) over the 20- or 30-year period.

As mentioned earlier, it is necessary to consider several climate scenarios instead of just one scenario when dealing with future climate. The method developed by Nik [44] successfully overcomes the challenge of dealing with climate uncertainties over long periods without losing track of extreme and typical conditions. This allows an impact assessment to be performed under both typical and extreme conditions with a minimum number of required simulations runs.

4.5 Weather files for building simulation – synthesizing weather files according to Nik’s approach

The backbone of Nik’s approach is synthesizing three sets of weather data for a 30-year period: 1) typical downscaled year (TDY): representing the typical conditions during the considered period, 2) extreme cold year (ECY): representing the coldest conditions, and 3) extreme warm year (EWY): representing the warmest conditions. Assuming a 30-year period (e.g., 1961–1990), TDY is synthesized in a similar way as TMY by Hall et al. [50], which is based on selecting twelve typical meteorological months (TMMs) and concatenating them to create a weather file for one year. Unlike TMY, creating TDY is based on only the hourly values of the outdoor air temperature and the other climate parameters are not weighted (reasons are explained in Nik [74] which the readers are referred to for more details). The hourly temperature of the 30-year RCM weather data is e.g., a 30×8760 matrix, which will be divided into 12 matrices corresponding to 12 months in a year. For each month, temperature distributions are mapped for all the years and the year with the most similar distribution to the total distribution will be selected as the year with the typical meteorological month (a similar approach is referred as Finkelstein–Schafer (FS) statistics [50]). After repeating the procedure for all the months, 12 sets of data are being combined to create a year (for this case, TDY or the most typical year). A similar procedure is used to create ECY and EWY data sets, however instead of looking for the least absolute difference, the years with the maximum (for ECY) and minimum (for EWY) difference are selected as the years representing the extreme temperatures for each month. Three sets of annual data are created in this way, TDY, ECY and EWY, which are also referred to as ‘representative weather data sets’, representing typical and extreme climate.

Figure 4.1 compares the hourly profiles of the outdoor temperature for one climate scenario over three 30-year periods of 2010–2039, 2040–2069 and 2070–2099. The hourly profile of all the 30 years of the original RCM data is plotted for all the periods (light grey lines). The TDY data set reflects the average behaviour of weather and its natural variations. Compared to the ECY and EWY in the last two graphs, TDY covers an area with the highest probability, while ECY is shifted to the lower bound of 30-years graph and EWY to the upper bound. The distribution of the temperature data sets is compared in Figure 4.2 using boxplots. As is visible, including ECY and EWY results in better estimation of the temperature ranges, including extremes (check Triple in the figure and compare with TDY).

The approach developed by Nik [74] has been widely used by the research community. On the national level, recently the National Research Council Canada (NRC) released weather data sets for many cities in Canada, made by applying the approach on the

outputs of some Canadian RCMs [75]. The project was conducted in collaboration with Nik himself to support the adaptation of buildings to climate change in Canada. Several applications of the approach have verified for energy simulation of buildings [74, 76] and urban energy systems [77], urban and microclimate simulations [78, 79] as well as moisture and hygrothermal simulations [80].

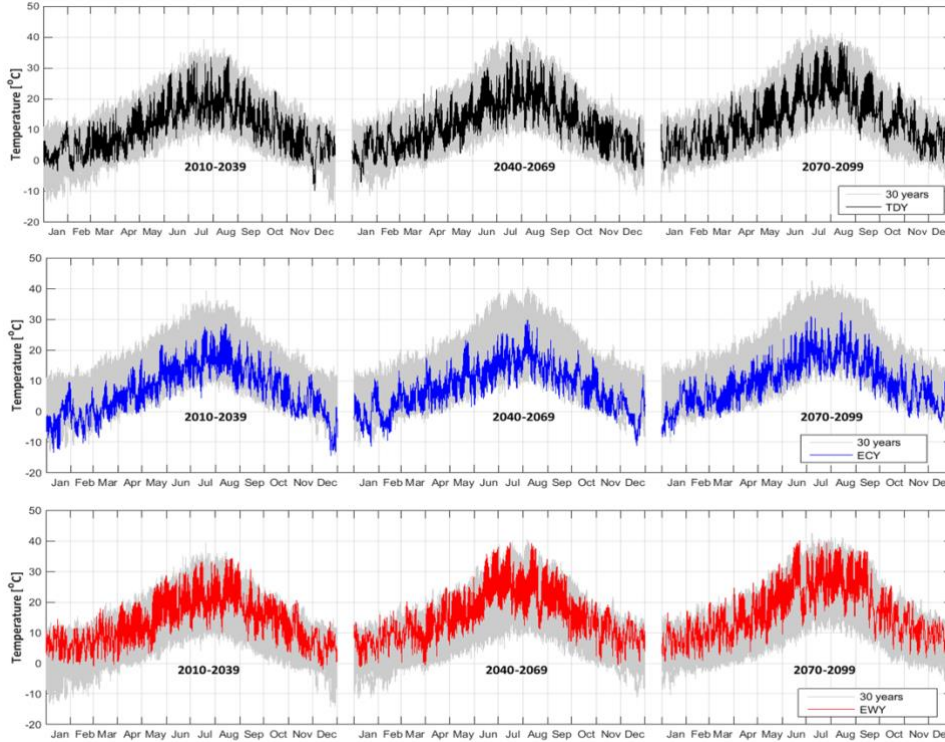


Figure 4.1 Hourly profiles of the outdoor temperature for 30 years of simulations (light grey) and (from top to bottom): TDY, ECY and EWY (figure is from [74]).

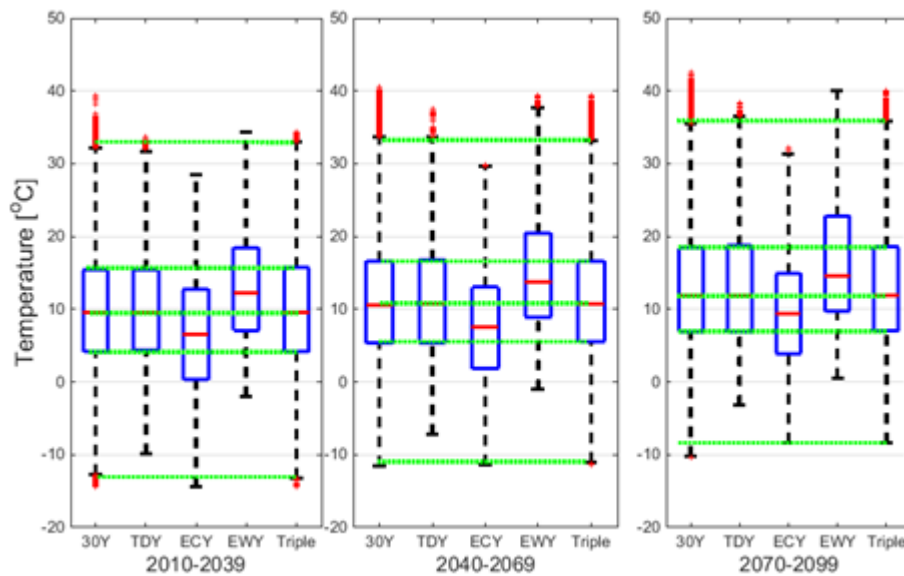


Figure 4.2 Boxplots of the outdoor temperature for 30 years (30Y), TDY, ECY, EWY and Triple, which the latter is the combination of TDY, ECY and EWY. (Figure is from [74]).

4.6 Dependence on the nature of the problem

Selection of the typical and extreme weather conditions depends on the nature of the problem. For example, extreme conditions for assessing the energy performance of a building can be different from those for assessing its moisture performance.

Moreover, the temporal scale/resolution can be different. For example, system sizing might be different if we account for extremes at the hourly resolution over a monthly or weekly scale. Most of the available methods for creating representative weather data are for the use of energy simulations, although on many occasions the same weather data are used in hygrothermal simulations. There exist fewer methods (with limited use) for creating moisture reference years, such as defining a critical moisture reference year (MRY) based on the drying or wetting potential, related to annual mean outdoor temperature, relative humidity or some other user defined factors [81]. Nik [80] studied different approaches for creating representative weather files for hygrothermal simulation of buildings by extending the application of the method he suggested for creating typical and extreme weather files for energy simulations [74] (calling them 'T_{dry bulb}' group in [80]). He synthesized two other groups of typical and extreme weather data based on the distribution of equivalent temperature (calling them 'T_{equivalent}' group) and rain (calling them 'rain' or 'precipitation' group). The idea behind creating these two weather data groups was to involve other affecting factors, e.g., relative humidity, solar radiation, and precipitation, in the process of creating the typical and extreme weather data sets. He simulated the hygrothermal performance of a wall in WUFI using the three groups of synthesized weather data and compared them with the long-term simulations using all the original RCM weather data. Figure 4.3 shows how using each group of weather data changes the assessment results. Apparently the 'rain' group provides a better representation of the average and extreme values of water content inside the wooden façade. However, if we investigate the mould growth in the same layer (check Figure 4.4), the mould growth rates predicted based on the 'T_{dry bulb}' group (based on [74]) can provide a very good estimation of the values.

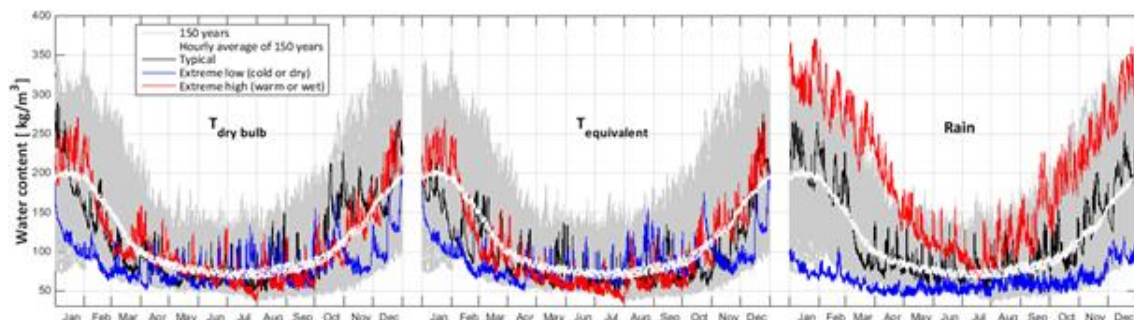


Figure 4.3 Hourly profiles of the water content inside the wooden façade of the wall during 2070-2099 for 150 years of simulations (light grey lines), hourly average of 150 years (white line), in comparison with simulation results out of typical and extreme synthesized weather data sets which were created based on: 1) outdoor dry-bulb temperature, 2) outdoor equivalent temperature and 3) rain. (graphs are from [80]).

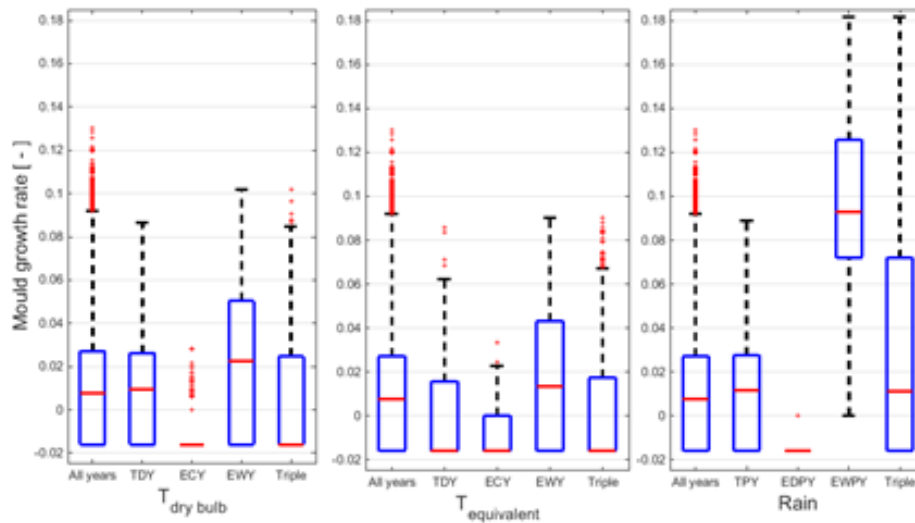


Figure 4.4 Boxplots of the mould growth/decay rate inside the insulation layer in the wall during 2070–2099 for 150 years of simulations (All years) in comparison with simulation results out of typical and extreme synthesized weather data sets which were synthesized using multiple climate scenarios based on: 1) outdoor dry-bulb temperature, 2) outdoor equivalent temperature and 3) rain (graph from [80]).

In another work about assessing the energy performance of buildings (at the urban scale) and urban energy systems [77], the Nik's approach was extended for the hourly temporal resolution to address the extreme events that affect the power supply reliability.

4.7 Weather files for building simulation- Urban morphology and microclimate data

It is well-known that microclimate conditions have noticeable impacts on the energy performance of buildings, the well-being and health of residents, as well as urban comfort. Having access to microclimate data can also lead to higher accuracy of Building Energy Simulation (BES) and Urban Building Energy Models (UBEM). At the city scale (1–10 km), climatic phenomena such as Urban Heat Islands (UHI) characterize what is known as the urban climate [82], in contrast to rural areas. At finer spatial resolution (e.g., urban neighbourhoods, canyons), the complex interactions between urban morphology and climate variables at the microscale are defined as microclimate conditions [79] (Figure 4.3). These phenomena are defined at the microscale against mesoscale climate data or 'mesoclimate'. Although these terms have specific definitions in different fields, Figure 4.4 illustrates microscale vs. mesoscale weather data graphically based on Oke [83]. The term 'microscale' is limited to the urban roughness sublayer (RSL), which includes the Urban Canopy Layer (UCL) (RSL is defined as an atmospheric layer that extends up to five times the average height of existing obstacle within the urban model).

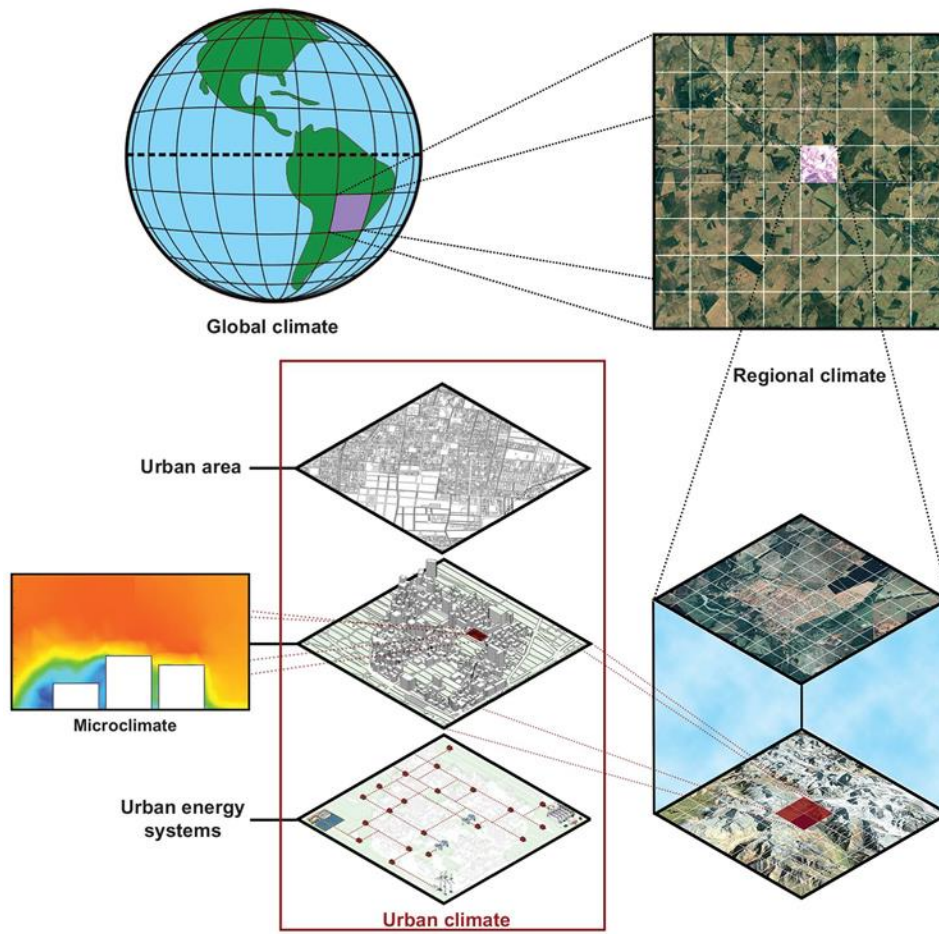


Fig 4.3 Spatial resolution of climate models: GCM, RCM, Urban Climate and Urban microclimate [84].

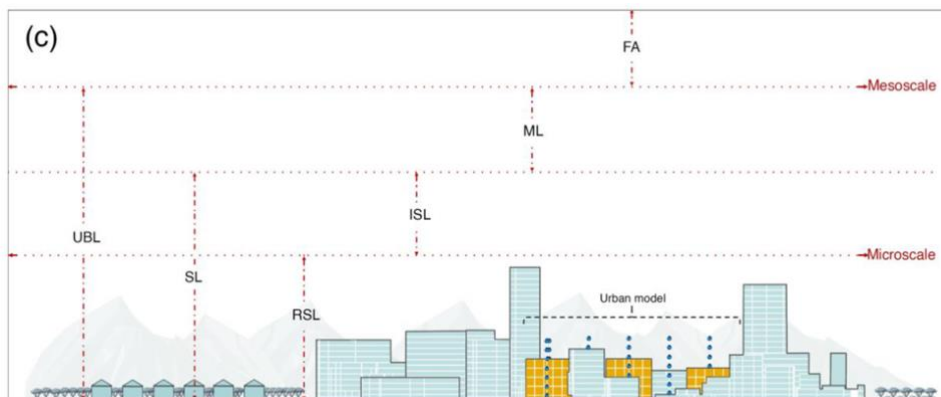


Figure 4.4 Visualization of microscale and mesoscale weather data for building/urban energy and urban comfort models: RSL: roughness sublayer; SL: surface layer; UBL: urban boundary layer; ISL: inertial sublayer, ML: mixed layer; FA: free atmosphere [85] based on [83].

There are three primary methods to generate or quantify urban climate and microclimate conditions: empirical/mathematical, numerical, and experimental [85]. Experimental methods can also be categorized into two main groups: in-situ measurement campaigns and wind tunnels. Due to the high cost of the instrument, operation, and maintenance, long-term in-situ measurement campaigns, and wind tunnel facilities are scarcely used in urban studies [86]. In-situ measurements can only provide point-wise data, which fail to represent area-averaged data for energy performance assessment applications and have

the complexities of permit acquisition in urban areas. Empirical/mathematical methods have been mostly limited to quantifying urban climate data. The urban climate is usually quantified using urban balance equations, while microclimate data is calculated using numerical methods. Computational fluid dynamics (CFD) is rapidly becoming the most widely used computational model for microclimate studies due to its flexibility, robustness, and accuracy [87]. To develop a CFD model or an empirical model (i.e., urban balance equations), an urban morphology model is required with a level of detail (LoD) of 1 or 2 (i.e., simple extruded blocks with flat roofs or simple-inclined roofs) [88, 89]. In fact, the variations of climate variables are modified by the morphology of urban areas. Urban morphology can be defined as three sub-categories of urban form (e.g., density, shape, layout, height), urban function (e.g., functional needs of buildings, size, location), and urban pattern (e.g., streets, canopies, open spaces of urban areas [90]). Studies show that surrounding obstacles and objects such as trees, vegetation, and urban open spaces also significantly affect the microclimate model's accuracy for building/urban energy simulation applications [91].

Additionally, the anthropogenic heat emissions from human activities also affect microclimate conditions and, consequently, BESs and UBEMs [92]. The standard morphological parameters adopted in these studies relate to urban areas' horizontal and vertical density [93, 94]. Other parameters have also been used in the literature, such as building height (BH) and frontal area index (FAI or λ_f) [95], building volume density (BVD) [96], and canyon aspect ratio (H/W) [97] to highlight interdependencies between urban form and urban microclimate (Figure 4.5).

Mapping urban morphology to urban climate/microclimate in the existing literature can be divided into two primary groups: Urban Physics [98] and energy calculations or urban sustainability applications [99]. Urban Physics is devoted to studying the physics behind the interactions between climate variables and urban morphology (i.e., wind velocity [100], turbulence [101], temperature [102], solar radiation [103], etc.) via CFD models. However, the latter is focused on generating local weather data for BES and UBEM [85, 99]. Li et al. [104] and Giridharana and Emmanuel [105] provided extensive reviews on temperature and UHI, while Toja-Silva et al. [106] and Mittal et al. [107] reviewed the works on urban morphology parameters and wind flow characteristics. The most studied phenomenon in the literature is UHI [108] and its effects on BES, UBEM, and urban comfort (i.e., [109-111]). Several tools and models have been also developed to capture the urban climate impacts based on urban forms. For example, Urban Weather Generator (UWG) captures UHI effects by using energy conservation principles to account for the effects of the urban canopy and boundary layers on microclimate conditions [112]. It considers surface roughness impacts on the air flow by using the vertical air temperature profile calculated by the vertical diffusion sub model and a logarithmic profile for the wind speed [113]. The anthropogenic heat gains are included as a parameter based on building function and HVAC templates, while vegetation impacts are incorporated by considering evaporation and vegetation surface coverage ratio [114]. The application of UWG using Dragonfly plugin in Grasshopper as well as an in-deep literature review considering climate change, is presented in Hossieni et al. [78].

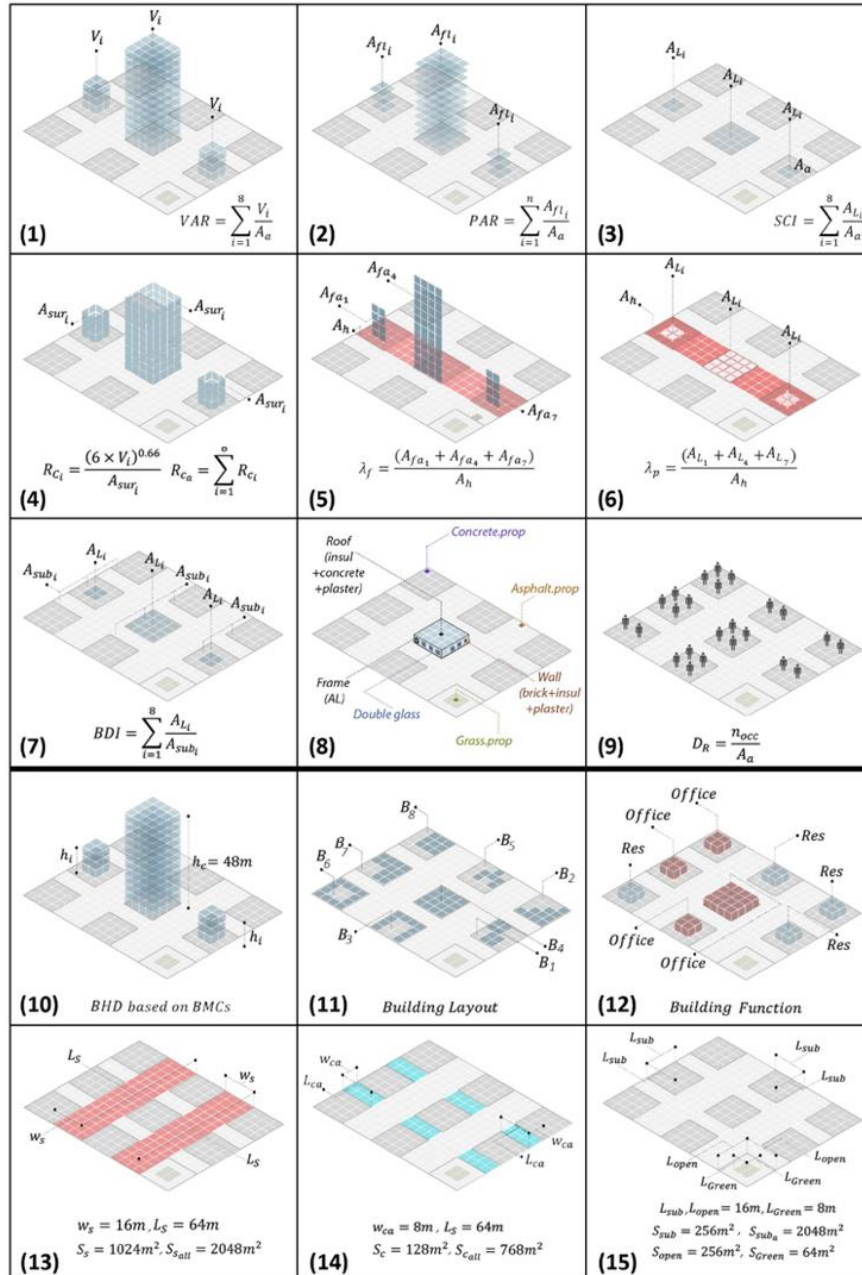


Figure 4.5 The major considered variables in this study based on two major parameters: **Urban Density**: (1) Volume Area Ratio or 'VAR', (2) Plot Area Ratio or 'PAR', (3) Site Coverage Index or 'SCI', (4) Relative Compactness or 'Rc', (5) Frontal area density or ' λ_f ', (6) Urban plan area density or ' λ_p ', (7) Building Density Index or 'BDI'; (8) Materials; (9) Occupancy density or 'D_{oc}': 0.02 and 0.03 [n/m²] for residential and office buildings., and **Urban Form**: (10) Building Height Distribution 'BHD', (11) Building Layouts, (12) Building function, (13) Urban pattern: main streets, (14) Urban pattern: canopies with 120 different H/w ratios, (15) Neighbourhood size [12].

Recently developing predictive models to study or generate microclimate conditions have gained specific attention, particularly due to recent heatwaves and extremely high temperatures. Despite decades of active research, most existing studies leveraging CFD have typically focused on a limited number of climate variables, and either considered very idealized setups or very specific realistic urban morphologies [115]. Javanroodi et al. [99] introduced the BMC technique (Building Modular Cell) to develop urban morphology models that can be implemented in both energy simulation and CFD

models. The BMC is defined based on a 3D cell (as a single space or room) with 4 m dimensions, which could be extended vertically or horizontally according to architectural principles using parametric design. This form-finding technique can include different LoD, ranging from LoD 1 to LoD 3. The application of BMC has been widely studied in developing BES [116], UBEM, and Urban Energy System (UES) design/optimization [117], studying microclimate conditions [100], and improving the climate resilience of urban areas [91]. Javanroodi et al. [118] also developed the CFD-NN hybrid model by combining Deep Neural Networks (DNN) and Multilayer Perceptron MLP model with a verified CFD solver to predict climate variables at the microscale solely based on morphological parameters. The novelty of CFD-NN, besides its speed and accuracy, is its potential to develop a universal urban canopy model based on CFD to generate microclimate data at an annual scale (Figure 4.6). The study also suggests that the urgent need for efficient and reliable methods to predict extreme microclimate conditions in urban environments as highlighted in a recent report by the National Academies of Sciences, Engineering and Medicine [119], can be satisfied by developing hybrid models based on combining cutting-edge machine learning algorithms (ANN, DNN, RNN, MLP) and CFD models.

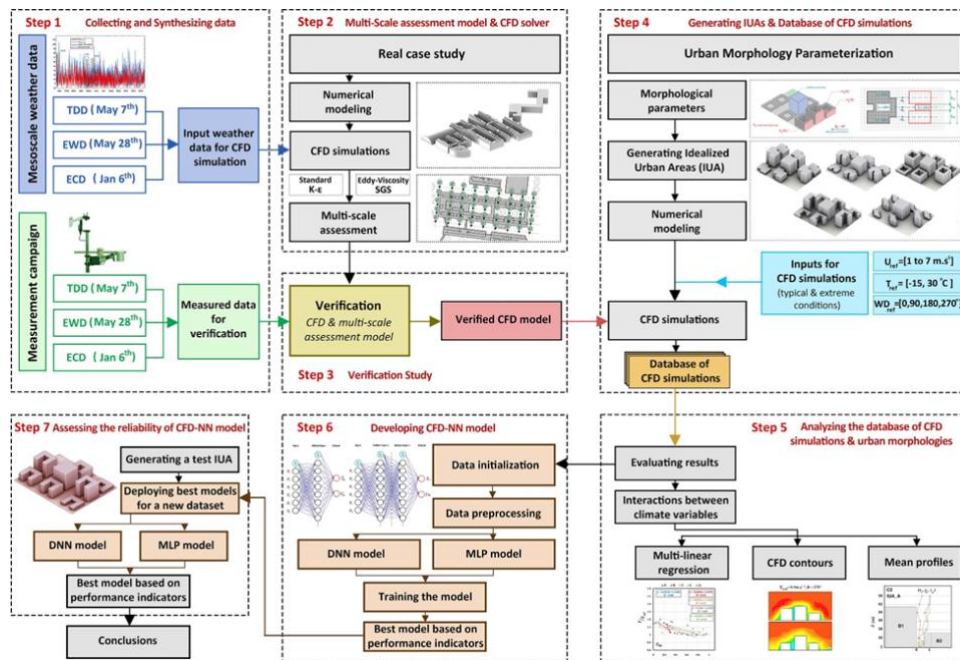


Figure 4.6 Schematic workflow of the CFD-NN model: (1): collecting/synthesizing mesoscale and in-situ measured weather data; (2): developing multi-scale assessment model and CFD solver based on Standard k-ε model and AEV turbulence models; (3): verifying the models against in-situ measured data; (4): developing urban morphology parameterization method and five BMCs; (5): evaluating CFD simulations based on morphological parameters; (6): developing CFD-NN model based on two architectures (DNN, and MLP); (7): employing the best performance CFD-NN model for a new set of morphological data [118].

5 Forskning om klimatdata och klimatfiler

5.1 Forskning om klimatdata och klimatfiler

Forskning om klimatdata och klimatfiler är inte ett stort område i Sverige. Här ges några exempel på forskning.

Chalmers tekniska högskola

Vid avdelningen för fysisk resursteori har man tagit fram Chalmers Climate Calculator som är ett nätbaserat, pedagogiskt verktyg där man kan kolla olika scenario för framtidens klimat. Till exempel går det att bestämma hur mycket koldioxid som ska släppas ut i atmosfären och sätta årtal för när utsläppen ska minska. Dessutom går det att prova olika mått på hur känsligt klimatet är.

Högskolan i Gävle

Vid akademien för teknik och miljö bedrivs forskning om fjärrvärme- och fjärrkyla system, byggnadsenergisystem, energieffektivitet, inneklimat, miljöbedömning av byggnader, naturlig ventilation, stadsventilation och solenergi. Undersökningar inkluderar mätningar (i laboratorium, fält- och vindtunnel), analytisk modellering och numeriska simuleringar med byggnadsenergisimuleringsverktyget IDA-ICE.

Lunds tekniska högskola

Vid avdelningarna för installationsteknik respektive byggnadsfysik bedrivs forskning och utbildning om installationer, byggnadsfysik, energiberäkningar och inomhusklimat. Bland annat forskas om simuleringar av framtida klimat och effekter av värmeöar.

SMHI – Rossby Centre

Rosby Center bedriver forskning om klimatprocesser och klimatsystemets beteende. De främsta verktyg är globala och regionala klimatmodeller som utvecklats inom forskningsenheten. Arbete bedrivs både med modellutveckling och utvärdering av data, samt modellering av applikationer för processtudier och klimatförändringsforskning till stöd för effekt- och anpassningsstudier.

IEA EBC Annex 80

IEA EBC [Annex 80](#) tar upp det ökade behovet av kylning av byggnader i Europa. Inom Annex 80 utvecklas, utvärderas och kommuniceras lösningar för robusta kyl- och överhettningsskydd. *Resilient Cooling* används för att beteckna lågenergi- och koldioxidsnåla kyllosningar som stärker individer och samhälle att motstå, och även förhindra, termiska och andra effekter av förändringar i globala och lokala klimat. Det genomförs via forskning och utveckling av både aktiv och passiv kylningsteknik för följande fyra områden:

- Minska externt inducerade värmestillskott till inomhusmiljöer.
- Förbättra personlig komfort utan att kyla hela utrymmen.
- Avlägsna känslig värme från inomhusmiljöer.
- Styra latent värme (fuktighet) i inomhusmiljöer.

Climate OneBuilding

[Climate OneBuilding](#) är ett arkiv för gratis klimatdata för simulering av byggnaders prestanda.

5.2 Pågående projekt om klimatdata och klimatfiler

Flera relevanta projekt har bedrivits eller genomförs av teamet i Sverige eller andra länder under de senaste åren, varav de större är listade nedan:

Formas funded project - 2014–2018 - PI: Vahid Nik

The project was about assessing the suitability of building retrofit approaches in Sweden for future climate considering the residential building stock in the country. Effectiveness of energy retrofitting approaches were evaluated by assessing their moisture performance, potential for energy saving, potential for CO₂ mitigation and economic feasibility. The project resulted in frameworks for decision making and novel methods to assess the robustness of retrofitting measures against climate change uncertainties.

SCCER funded project – 2014–2018 – PI: Vahid Nik

Project was conducted at EPFL in Switzerland and was about Future Energy Efficient Buildings and Districts in Switzerland and Assessment of Urban Energy Systems for Future Energy Efficient Buildings and Districts, considering both the centralized and decentralized urban energy systems. Novel method were developed to account for climate change in urban energy assessment.

Formas funded project - 2016–2020 - PI: Vahid Nik

Project was about “Adaptation of buildings and energy systems to uncertain future conditions – Assessing renewable energy sources and climate change”. Several pioneering approaches were developed in this project to account for climate change uncertainties and extreme events in decision making and building and energy system simulations, including the novel method to synthesize typical and extreme weather data sets out of RCMs.

EU-funded project - 2020–2024 - PI: NTNU in Norway – Scientific Coordinator and PI in Sweden: Vahid Nik

A project under the H2020 Innovation Action call on Building a Low-carbon, Climate Resilient Future: Secure, Clean and Efficient Energy (LC-SC3-B4E-3-2020). The project is called “Collective Intelligence for Energy Flexibility” or COLLECTiEF. To assess the climate resilience and flexibility of our novel demand side management, we developed novel approaches to include climate data sets from the most recent future climate models and apply them our AI-based control systems.

Formas funded project - 2022–2025 - PI: Linnaeus University – Climate change part is led by Lund University (Vahid Nik and Kavan Javanroodi)

The project is entitled “How prepared are Swedish detached houses to adapt to Climate Change?” and aims to analyse the preparedness of the existing detached houses for climate change and develop a strategy for the detached housing sector to improve their resilience to climate change. The project is transdisciplinary and will evaluate the sectoral preparedness firstly by analysing the Swedish homeowners’ perception and readiness towards climate change; followed by mapping the climate change risks and damages in the residential sector across Sweden and explores the adaptation measures of buildings in climate risk zones (considering both the energy and hygrothermal performance of buildings). The study will further analyse the market implication of climate change and renovation measures addressing climate mitigation and adaptation in terms of the property price. The study will also analyse the perception and readiness of supply-side actors (real estate companies, bankers, insurance companies, and SMEs working on building renovation) towards climate change and finally draft a collective strategy for the detached house sector to combat climate change.

Energimyndigheten funded project - 2022–2026 - PI: SLU - Climate change part is led by Lund University (Vahid Nik)

The project is entitled “Improving energy-efficiency and indoor climate of livestock buildings through passive and active adaptation measures”. The project investigates energy use and indoor climate in livestock buildings considering both the actual and

projected climate. Poor indoor climate leads to low animal welfare, reduced production, and reduced hygiene with higher risks for diseases. The risks can increase by climate change. A systemic analysis of hygrothermal conditions and energy performance will be performed in animal stables to identify the current conditions/risks and assess them for future climate.

Formas funded project - 2023–2026 - PI: Vahid Nik

The project is called CRAFTCIRLEM which stands for ‘enhanced Climate Resilience And Flexibility in complex urban environments Through integrating Collective Intelligence and Reinforcement Learning into Energy Management’. CRAFTCIRLEM develops an innovative energy management system based on collective intelligence (called CI-DSM) in a scalable manner that can be integrated with buildings and energy systems. The aim is to enhance climate adaptation of buildings and urban areas in a way to account for multi-variant factors such as climate, user behaviour and adopted technology. Empowering the autonomous operation of energy systems can improve their resilience and help to bounce back towards equilibrium or stability after an extreme event. In this regard, CI-DSM can be interpreted as an approach to improve the climate resilience of urban energy systems through increasing the flexibility on the demand side autonomously. CI-DSM orchestrates the climate adaptive measures of buildings at the local level to give rise to self-organized patterns at an urban scale. This helps the energy system to pass extreme events safely and more agile. Moreover, the AI-based solutions which are provided at different levels in CI-DSM, enable the energy system to learn from shocks and user behaviour, helping to speedily adapt and become more resilient.

CWEC Weather Data Generation - 2021 - PI: Vahid Nik

This project was conducted as a consultancy work for National Research Council Canada (NRC), which was about generating representative future weather data sets for several cities in Canada based on the Nik’s approach to be used by building industry in Canada.

6 Utmaningar och möjligheter - Diskussion

För att klara klimatförändringar har det stora fokuset inom byggsektorn (och många andra sektorer) hittills varit att ”lindra effekterna av klimatförändringen”.

Detta samtidigt som det är nödvändigt med förberedelser för klimatförändringar, eftersom de sker och påverkar alla människor. Därför behövs större uppmärksamhet på ”klimatförändringsanpassning”. Det är här som kunskaper, data och metoder saknas och mycket mer än t.ex. redovisning av koldioxidutsläpp behövs. Det finns ett behov av att satsa mer på klimatförändringsanpassning genom att:

- öka kunskapen, om anpassning till klimatförändringar, inom byggsektorn,
- utveckla och testa metoder och
- syntetisera lättanvända uppsättningar av klimatdata för användarna.

6.1 Tillgång till väderdata och klimatfiler

I många länder måste användarna köpa väderdata, medan det i andra länder finns uppsättningar av väderdata som är offentliga (t.ex. CWEC Weather Data Generation i Kanada). Det finns flera tillvägagångssätt för den stora användningen av klimatdata för framtiden, som t.ex.

- klimatdata av hög kvalitet från SMHI, som konsult/forskare använder som grund för att skapa lämpliga uppsättningar av klimatfiler för framtiden, och dela dessa offentligt,
- investera i att skapa verktyg (som t.ex. Meteonorm) för att syntetisera väderdata för hela Sverige eller
- köpa data av hög kvalitet från konsult/företag som genererar och delar klimatfiler offentligt.

Allt kräver investeringar i att skapa kunskap och underlag/data som kan delas med användarna. Felaktig användning av klimatfiler för framtiden kan leda till mycket dyra ekonomiska konsekvenser. Analysers rumsliga och tidsmässiga upplösningar spelar en viktig roll för kraven på kvalitet på klimatfiler för framtidens väder.

6.2 Lokala variationer - mikroklimat

Mikroklimat påverkar energi- och fuktprestandan hos byggnader (och energisystem) men försummas av de flesta tillgängliga tillvägagångssätten. Detta samtidigt som effekter av extrema klimathändelser kan förändras avsevärt i urban/mikroskala. Att ta hänsyn till mikroklimat kommer att öka kostnaden för analyser avsevärt och det är inte möjligt i alla lägen. Därför behöver prioriteringar göras av kvalificerade beslutsfattare.

6.3 Marginal i indata eller analys

Osäkerhet finns i alla indata som används i olika analyser av energianvändning och inomhusklimat. Beräkningar och simuleringar görs för både normalt klimat och för ovanliga/extrema vädersituationer. Det behövs klimatdata för båda fallen. Klimatfiler för framtiden kan ha säkerhetsmarginal, men frågan är om det ska vara för en kort, lång eller mycket lång period.

I dagens bostadsprojekt är det mycket ovanligt med komfortkyla. Kommer det att vara annorlunda om 10–15 år? Behöver nya byggnader förberedas för komplettering med komfortkyla? Möjliga konsekvenser och hur osäkerhet ska hanteras samt säkerhetsmarginaler användas behöver utredas vidare.

6.4 Rekommendationer

Det finns åtminstone tre stora luckor i nuläget för byggbranschen (och anläggningsarbeten)

- 1) Brist på korrekta väderdata/klimatfiler för framtiden, som lätt kan användas av alla intressenter.
- 2) Brist på nya/uppdaterade/verifierade tillvägagångssätt som korrekt tar hänsyn till extrema väderhändelser och osäkerheter om klimatet.
- 3) Bristande kunskap hos ingenjörer, intressenter, ansvariga offentliga sektorer och även forskare om konsekvensanalys av klimatförändringar.

Med tanke på de senaste framstegen inom området för modellering av klimatförändringar och det framgångsrika forskningsarbetet med att koppla klimatmodeller till tekniska modeller, borde det finnas stora möjligheter att ta itu med frågeställningarna. Detta kräver att tydliga mål sätts upp och att åtgärder vidtas.

Referenser

1. Filipsson, P. and J.-O. Dalenbäck, *Energiberäkningar - Avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov - Förstudie*. 2014.
2. Boverket, *Energihushållning enligt Boverkets byggregler- utgåva två*. 2012.
3. Vladyková, P., et al., *Passive Houses for Arctic. What buildings should we build in Arctic?* 2009.
4. Johansson, D., *Modelling Life Cycle Cost for Indoor Climate Systems*, in *Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola*. 2005, Lund University.
5. Meteotest, *Meteonorm handbook, manual and theoretical background*. 2003.
6. Bülow-Hübe, H., et al., *Nuläge termisk komfort - en kunskapssammanställning*. 2022, Malmö universitet.
7. Fanger, P.O., *Thermal Comfort*. 1970, Copenhagen: Danish Technical Press.
8. Gagge, A., *Standard effective temperature-A single temperature index of temperature sensation and thermal discomfort*, in *Proc. of the CIB Commission W45 (Human Requirements), Symposium, Thermal Comfort and Moderate Heat Stress, Building Research Stat*, . 1973. p. 229-250.
9. Ji, W., et al., *Interpretation of standard effective temperature (SET) and explorations on its modification and development*. *Building and Environment*, 2022. **210**.
10. Laouadi, A., M. Bartko, and M.A. Lacasse, *A new methodology of evaluation of overheating in buildings*. *Energy and Buildings*, 2020. **226**.
11. Zero Carbon Hub, *Overheating in homes the big picture - full report*. 2015: London.
12. Hanna, E.G. and P.W. Tait, *Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming*. *International journal of environmental research and public health*, 2015. **12 (7)**: p. 8034-74.
13. Leiva, D.F. and B. Church, *Heat Illness*, in *StatPearls*. 2022, StatPearls Publishing LLC: Treasure Island (FL),.
14. Lee, S.W., K. Lee, and B. Lim, *Effects of climate change-related heat stress on labor productivity in South Korea*. *International journal of biometeorology*, 2018. **62 (12)**: p. 2119-29.
15. Kovats, R.S. and S. Hajat, *Heat stress and public health: a critical review*. *Annual review of public health*, 2008. **29**: p. 41-55.
16. Robine, J.M., et al., *Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003*. *Comptes rendus biologies*, 2008. **331 (2)**: p. 171-8.
17. Lan, L., et al., *Thermal environment and sleep quality: A review*. *Energy and Buildings*, 2017. **149**: p. 101-13.
18. Kenny, G.P., et al., *Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases*. *CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 2010. **182 (10)**: p. 1053-60.
19. Xu, Z., et al., *The impact of heat waves on children's health: a systematic review*. *International journal of biometeorology*, 2014. **58 (2)**: p. 239-47.
20. Beckmann, S.K., M. Hiete, and C. Beck, *Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments—Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany*. *Climate Risk Management*, 2021. **32**.
21. Folkhälsomyndigheten, *Allmänna råd om temperatur*, Folkhälsomyndigheten, Editor. 2014.
22. Arbetsmiljöverket, *Arbetsplatsens utformning AFS 2020:1*. 2021.
23. FEBY, *Kravspecifikation för energieffektiva byggnader - Bostäder och lokaler*. 2019.

24. CIBSE, *CIBSE TM59: Design methodology for the assessment of overheating risks in homes*, in *T.C.I.o.B.S. Engineers (Ed.)*. 2017: 222 Balham High Road, London, SW12 9BS.
25. Bugenings, L.A. and A. Kamari, *Overheating in existing and renovated Danish single- and multi-family houses*. *Journal of Building Engineering*, 2022. **57**.
26. Velashjerdi Farahani, A., et al., *Overheating Risk and Energy Demand of Nordic Old and New Apartment Buildings during Average and Extreme Weather Conditions under a Changing Climate*, . *Applied Sciences*, 2021. **11 (9)**.
27. Ylmén, P. and J. Schade, *Termisk inomhuskomfort vid värmeböljor*, SBUF, Editor. 2021.
28. Andersson, J., L.O. Matsson, and S. Gehlin, *VVS 2000: tabeller och diagram. Meteorologi och klimatologi*. 2003: VVS Tekniska föreningen. Förlags AB VVS.
29. Ekberg, L., et al., *Ventilation i Sverige – en kunskapssammanställning*. 2022, Malmö universitet: Malmö.
30. Meehl, G.A., et al., *Global climate projections Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Qin M Manning Z Chen M Marquis K Averyt M Tignor HL Mill 2007: N Y. p. 747-845.
31. CORDEX. 2016-02-27]; Available from: <http://cordex.org/>.
32. Fowler, H.J., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi, *Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling*. . *Int J Climatol* 2007. **27**: p. 1547-78.
33. Prudhomme, C., et al., *Scenario-neutral approach to climate change impact studies: Application to flood risk*. *J Hydrol* 2010. **390**: p. 198–209.
34. Belcher, S., J. Hacker, and D. Powell, *Constructing design weather data for future climates*. *Build Serv Eng Res Technol*, 2005. **26**: p. 49–61.
35. Field, C.B., et al., *Summary for Policymakers*, in *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. 2012, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York: New York.
36. Jentsch, M.F., et al., *Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates*. *Renew Energy* 2013. **44**: p. 514–24.
37. Moazami, A., et al., *Impacts of future weather data typology on building energy performance – Investigating long-term patterns of climate change and extreme weather conditions*. , vol. 238, pp. 696–720, Mar. 2019, doi:10.1016/j.apenergy.2019.01.085. *Applied Energy*, 2019. **238**: p. 696–720.
38. Nik, V.M., *Hygrothermal Simulations of Buildings Concerning Uncertainties of the Future Climate*. 2012, Chalmers University of Technology.
39. Fant, C., C. Adam Schlosser, and K. Strzepek, *The impact of climate change on wind and solar resources in southern Africa*. *Appl Energy*, 2016. **161**: p. 556-64.
40. Giorgi, F., *Regional climate modeling: Status and perspectives*. *J Phys IV - Proc*, 2006. **139**(18).
41. Samuelsson, P., et al., *The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance*. *Tellus A* 2011. **63**: p. 4-23.
42. Rummukainen, M., *State-of-the-art with regional climate models*. Wiley Interdiscip Rev Clim Change, 2010. **1**: p. 82–96.
43. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2007: Geneva, Switzerland.

44. Kjellström, E., et al., *21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations*. *Tellus A*, 2011. **63**: p. 24–40.
45. Christensen, J., et al., *Weight assignment in regional climate models*. *Clim Res* 2010. **44**: p. 179–94.
46. Nik, V.M., *Climate Simulation of an Attic Using Future Weather Data Sets - Statistical Methods for Data Processing and Analysis*. 2010, Chalmers University of Technology.
47. Guan, L., *Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings*. *Build Environ* 2009. **44**: p. 793–800.
48. Yang, L., et al., *A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies*. *Energy* 2011. **36**: p. 6121–9.
49. Chan, A.L.S., et al., *Generation of a typical meteorological year for Hong Kong*. *Energy Convers Manag* 2006. **47**: p. 87-96.
50. Hall, I.J., et al., *Generation of a typical meteorological year*. 1978, Albuquerque, NM (USA): Sandia Labs.
51. AHSRAE, *International weather for energy calculations (IWEC Weather Files) User's Manual*. 2002.
52. ASHRAE, *Weather year for energy calculations*. 1985: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
53. Crow, L.W., *Summary description of typical year weather data*. *Chicago Midway Airport*. 1970, .
54. Crawley, D.B., *Which Weather Data Should You Use for Energy Simulations of Commercial Buildings?* *ASHRAE Trans* 1998. **104**: p. 498–515.
55. CIBSE, *CIBSE Guide J: Weather, Solar and Illuminance data*. 2002, The Chartered Institution of Building Services Engineers: London.
56. Marion, W. and K. Urban, *Users manual for radiation data base TMY2s derived from the 1961–1990 national solar@. .* 1995, Natl Renew Energy Lab.
57. Hong, T., W.-K. Chang, and H.-W. Lin, *A fresh look at weather impact on peak electricity demand and energy use of buildings using 30-year actual weather data*. *Appl Energy*, 2013. **111**: p. 333-50.
58. Kershaw, T., M. Eames, and D. Coley, *Comparison of multi-year and reference year building simulations*. *Build Serv Eng Res Technol*, 2010. **31**: p. 357-69.
59. Chan, A.L.S., *Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong*. *Energy and Buildings*, 2011. **43**(10): p. 2860–8.
60. Huang, K.-T. and R.-L. Hwang, *Future trends of residential building cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change: The case of Taiwan*. *Applied Energy*, 2016. **184**: p. 1230-40.
61. Jentsch, M.F., A.S. Bahaj, and P.A.B. James, *Climate change future proofing of buildings--Generation and assessment of building simulation weather files*. *Energy Build* 2008. **40**: p. 2148-68.
62. Zhu, M., et al., *An alternative method to predict future weather data for building energy demand simulation under global climate change*. *Energy Build*, 2016. **113**: p. 74-86.
63. Arima, Y., et al., *Effect of climate change on building cooling loads in Tokyo in the summers of the 2030s using dynamically downscaled GCM data*. *Energy Build* 2016. **114**: p. 123-9.
64. Wang, H. and Q. Chen, *Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States*. *Energy Build*, 2014. **82**: p. 428-36.

65. Jylhä, K., et al., *Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate*. Energy Build 2015. **99**: p. 104-16.
66. Mirasgedis, S., et al., *Modeling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at regional level: Case of Greece*. Energy Convers Manag, 2007. **48**: p. 1737–50.
67. Ahmed, T., K.M. Muttaqi, and A.P. Agalgaonkar, *Climate change impacts on electricity demand in the State of New South Wales, Australia*. Appl Energy, 2012. **98**: p. 376–83.
68. Christenson, M., H. Manz, and D. Gyalistras, *Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland*. Energy Convers Manag 2006. **47**: p. 671–86.
69. Eames, M., T. Kershaw, and D. Coley, *On the creation of future probabilistic design weather years from UKCP09*. Build Serv Eng Res Technol 2011. **32**: p. 127-42.
70. Mylona, A., *The use of UKCP09 to produce weather files for building simulation*. Build Serv Eng Res Technol, 2012. **33**: p. 51-62.
71. Eames, M., T. Kershaw, and D. Coley, *A comparison of future weather created from morphed observed weather and created by a weather generator*. Build Environ, 2012. **56**: p. 252-64.
72. Kershaw, T., M. Eames, and D. Coley, *Assessing the risk of climate change for buildings: A comparison between multi-year and probabilistic reference year simulations*. Build Environ, 2011. **46**: p. 1303–8.
73. Crawley, D. and L. Lawrie, *Should We Be Using Just “Typical” Weather Data in Building Performance Simulation?*, in *Build. Simul.* . 2019: Rome, Italy.
74. Nik, V.M., *Making energy simulation easier for future climate - Synthesizing typical and extreme weather data sets out of regional climate models (RCMs)*. Applied Energy, 2016. **177**: p. 204-226.
75. Gaur, A. and L. M., *Climate Data to Support the Adaptation of Buildings to Climate Change in Canada*. Data, 2022. **7**(42).
76. Hosseini, S., et al., *Improving Climate Resilience and Thermal Comfort in a Complex Building through Enhanced Flexibility of the Energy System*, in *Int. Conf. Smart Energy Syst. Technol. SEST*. 2022. p. 1-6.
77. Perera, A.T.D., et al., *Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems*. Nat Energy 2020. **5**: p. 150-9.
78. Hosseini, M., K. Javanroodi, and V.M. Nik, *High-resolution impact assessment of climate change on building energy performance considering extreme weather events and microclimate – Investigating variations in indoor thermal comfort and degree-days*. Sustainable Cities and Society, 2022. **78:103634**. .
79. Javanroodi, K. and V.M. Nik, *Interactions between extreme climate and urban morphology: Investigating the evolution of extreme wind speeds from mesoscale to microscale*. Urban Climate, 2020. **31:100544**.
80. Nik, V.M., *Application of typical and extreme weather data sets in the hygrothermal simulation of building component for future climate - A case study for a wooden frame wall*. Energy and Building, 2017. **154**: p. 30-45.
81. Zhou, X., D. Derome, and J. Carmeliet, *Robust moisture reference year methodology for hygrothermal simulations*. Build Environ, 2016. **110**: p. 23-35.
82. Oke, T.R., et al., *Urban Climates*. 2017, Cambridge: Cambridge University Press.
83. Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*. 1987: Routledge.
84. Nik, V.M., A.T.D. Perera, and D. Chen, *Towards climate resilient urban energy systems: a review*. National Science Review, 2021. **8**(3): p. nwaal34.

85. Javanroodi, K. and V.M. Nik, *Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas*. Buildings, 2019. **9**(8): p. 189.
86. Wang, Y. and L. Wu, *On practical challenges of decomposition-based hybrid forecasting algorithms for wind speed and solar irradiation*. Energy, 2016. **112**: p. 208-220.
87. Toparlar, Y., et al., *A review on the CFD analysis of urban microclimate*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **80**: p. 1613-1640.
88. Biljecki, F., *Level of detail in 3D city models*. 2017.
89. Biljecki, F., H. Ledoux, and J.E. Stoter, *Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity*. 1st international conference on smart data and smart cities, 30th UDMS, 7–9 September 2016, Split, Croatia, 2016. **IV-4/W1**.
90. Javanroodi, K., *Wind-phil Architecture: Optimization of high-rise buildings form for efficient summer cooling in Tehran*. . 2018, Tarbiat Modares University: Tehran.
91. Perera, A.T.D., K. Javanroodi, and V.M. Nik, *Climate resilient interconnected infrastructure: Co-optimization of energy systems and urban morphology*. Applied Energy, 2021. **285**: p. 116430.
92. Lee, K., et al., *Trend Analysis of Urban Heat Island Intensity According to Urban Area Change in Asian Mega Cities*. Sustainability, 2020. **12**(1): p. 112.
93. Garuma, G.F., *Review of urban surface parameterizations for numerical climate models*. Urban Climate, 2018. **24**: p. 830-851.
94. Chokhachian, A., et al., *Urban performance and density: Generative study on interdependencies of urban form and environmental measures*. Sustainable Cities and Society, 2020. **53**: p. 101952.
95. Apreda, C., A. Reder, and P. Mercogliano, *Urban morphology parameterization for assessing the effects of housing blocks layouts on air temperature in the Euro-Mediterranean context*. Energy and Buildings, 2020. **223**: p. 110171.
96. Cao, Q., et al., *The effects of 2D and 3D building morphology on urban environments: A multi-scale analysis in the Beijing metropolitan region*. Building and Environment, 2021. **192**: p. 107635.
97. Liu, L., et al., *Climate-conscious spatial morphology optimization strategy using a method combining local climate zone parameterization concept and urban canopy layer model*. Building and Environment, 2020. **185**: p. 107301.
98. Blocken, B., *Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations*. Building and Environment, 2015. **91**: p. 219-245.
99. Javanroodi, K., M. Mahdavinejad, and V.M. Nik, *Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate*. Applied Energy, 2018. **231**: p. 714-746.
100. Javanroodi, K., V.M. Nik, and J.L. Scartezzini, *Quantifying the impacts of urban morphology on modifying microclimate conditions in extreme weather conditions*. Journal of Physics: Conference Series, 2021. **2042**(1): p. 012058.
101. Liu, Y., et al., *Proper orthogonal decomposition of large-eddy simulation data over real urban morphology*. Sustainable Cities and Society, 2022. **89**: p. 104324.
102. Jamei, E., D.R. Ossen, and P. Rajagopalan, *Investigating the effect of urban configurations on the variation of air temperature*. International Journal of Sustainable Built Environment, 2017. **6**(2): p. 389-399.

103. Zhang, J., et al., *Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city*. Applied Energy, 2019. **240**: p. 513-533.
104. Li, X., et al., *Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings*. Energy, 2019. **174**: p. 407-419.
105. Giridharan, R. and R. Emmanuel, *The impact of urban compactness, comfort strategies and energy consumption on tropical urban heat island intensity: A review*. Sustainable Cities and Society, 2018. **40**: p. 677-687.
106. Toja-Silva, F., et al., *A review of computational fluid dynamics (CFD) simulations of the wind flow around buildings for urban wind energy exploitation*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2018. **180**: p. 66-87.
107. Mittal, H., A. Sharma, and A. Gairola, *A review on the study of urban wind at the pedestrian level around buildings*. Journal of Building Engineering, 2018. **18**: p. 154-163.
108. Rizwan, A.M., L.Y.C. Dennis, and C. Liu, *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. Journal of Environmental Sciences, 2008. **20**(1): p. 120-128.
109. Li, Y., et al., *Context sensitivity of surface urban heat island at the local and regional scales*. Sustainable Cities and Society, 2021. **74**: p. 103146.
110. Gao, Y., J. Zhao, and L. Han, *Exploring the spatial heterogeneity of urban heat island effect and its relationship to block morphology with the geographically weighted regression model*. Sustainable Cities and Society, 2022. **76**: p. 103431.
111. Khoshnoodmotlagh, S., et al., *Urban morphology detection and its linking with land surface temperature: A case study for Tehran Metropolis, Iran*. Sustainable Cities and Society, 2021. **74**: p. 103228.
112. Bueno, B., et al., *Computationally efficient prediction of canopy level urban air temperature at the neighbourhood scale*. Urban Climate, 2014. **9**: p. 35-53.
113. Bueno, B., et al., *Development and evaluation of a building energy model integrated in the TEB scheme*. Geoscientific Model Development, 2012. **5**(2): p. 433-448.
114. Bueno, B., et al., *Calculation of Air Temperatures above the Urban Canopy Layer from Measurements at a Rural Operational Weather Station*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2013. **52**(2): p. 472-483.
115. Giometto, M.G., et al., *Spatial Characteristics of Roughness Sublayer Mean Flow and Turbulence Over a Realistic Urban Surface*. Boundary-Layer Meteorology, 2016. **160**(3): p. 425-452.
116. Javanroodi, K., V.M. Nik, and B. Adl-Zarrabi, *A multi-objective optimization framework for designing climate-resilient building forms in urban areas*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. **588**(3): p. 032036.
117. Perera, A.T.D., et al., *Urban cells: Extending the energy hub concept to facilitate sector and spatial coupling*. Advances in Applied Energy, 2021. **3**: p. 100046.
118. Javanroodi, K., et al., *Combining computational fluid dynamics and neural networks to characterize microclimate extremes: Learning the complex interactions between meso-climate and urban morphology*. Science of The Total Environment, 2022. **829**: p. 154223.
119. National Academies of Sciences, E., *Enhancing Urban Sustainability with Data, Modeling, and Simulation: Proceedings of a Workshop*. 2019.

Svenska standarder som omnämns i texten

- SS-EN ISO 7243:2017 Det termiska klimatets ergonomi - Bedömning av värmestress genom användning av WBGT (wet bulb globe temperature) index (ISO 7243:2017)
- SS-EN ISO 7730:2006 Ergonomi för den termiska miljön - Analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD samt kriterier för lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)
- SS-EN ISO 7933:2004 Ergonomi för termiskt klimat - Analytisk bestämning och bedömning av värmebelastning genom beräkning av indexet PHS (ISO 7933:2004)
- SS-EN ISO 15927-5:2005 Fukt- och värmetekniska egenskaper hos byggnader - Klimatdata - Del 5: Data för att bestämma byggnaders effektbehov för uppvärmning (ISO 15927-5:2004)
- SS-EN 16798-1:2019 Byggnaders energiprestanda - Ventilation för byggnader - Del 1: Indataparametrar för inomhusmiljö för konstruktion och bestämning av byggnaders energiprestanda gällande luftkvalitet, termiskt klimat, belysning och akustik - Modul M1-6

Bilaga I - Klimatfiler

Här redovisas kortfattad information om ett urval av klimatfiler.

Test Reference Year, TRY (England)

Utvecklades ursprungligen 1976 för 60 platser i USA. Som baslinje användes perioden 1948 till 1975. Från denna baslinje filtrerades år med månatliga extremvärden bort tills ett enda år kvarstod med de minst allvarliga (eller de flesta genomsnittliga) väderförhållanden. (period 1948–1975).

Typical Meteorological Year, TMY (USA)

Använder fler indatavariabler än TRY: minimum-, max- och medelvärden för temperatur, RF och lägsta och högsta vindhastighet. TMY, förutom global strålning, inkluderar även direkt normalstrålning. (period 1961–90).

TMY2 (USA) och WYEC2 (USA/Canada)

Liknar TMY men med mer komplexa solmodeller. Dessutom ändras viktning för temperatur och RF för att ge mindre betoning på vindhastighet. (period 1961–90). (WYEC = weather year for energy calculations)

TMY3 (USA)

Skapades med en liknande procedur som TMY2. TMY3 baseras på 15 basår (1991–2005), men på platser där data finns tillgänglig för 30 år. (period 1976–2005).

Design Summer Year, DSY (England)

Avsåg dimensionering av mekaniska kylsystem. DSY är det år som infaller i mitten av den övre kvartilen av basårens datauppsättning genom att välja det år som har den 3:e varmaste dagliga medeltemperaturen från april till september under 20 år.

DSY tar inte hänsyn till extrema temperaturer under enskilda månader eller infallande solstrålning. Detta innebär att perioder med hög temperatur (som värmeböljor) under relativt svala somrar inte beaktas. (period 1983–2005).

Probabilistic Design Summer Year, pDSY (England)

Baserat på andra överhettningmått än DSY. År väljs på grundval av att de innehåller händelser som är tillräckligt varma för att orsaka en viss grad av överhettning i en tänkt byggnad som håller nästan samma temperatur som den yttre temperaturen.

The Summer Reference Year, SRY (England)

Baserat på TRY-metoden. SRY justerar TRY-temperaturen till värden som representerar den 90:e percentilen av en fördelningsfunktion skapad från sommarmånaderna för basdatauppsättningen. I slutändan bör SRY:erna innehålla minst en varm period för att vara användbar vid överhettningberäkning.

The near extreme year, DRY (England)

Använder en trestegsprocess för att skapa ett väderår. Processen kräver en stor mängd väderdata; (3000 basår producerade av en väderfilsgenerator). De enskilda månaderna rangordnas efter månatlig medeltemperatur. Tjugoårsperioder av dessa rankade månader (20 januarimånader, 20 februarimånader etc.) var och en centrerad på mitten av den övre kvartilen (87,5 %) identifieras och med hjälp av statistiska metoder identifieras de tre månaderna med den lägsta kombinerade rankingssumman av temperatur, luftfuktighet och solstrålning. Sedan väljs månaden inom denna grupp om tre med den genomsnittliga månatliga vindhastigheten närmast 20-årsgenomsnittet.

Denna process upprepas under alla 12 månader och DRY skapas. Denna metod har fördelen att processen kan användas för nuvarande eller framtida väder.

The Extreme Meteorological Year, XMY (USA)

En förlängning av TMY-idéen över hela året och använder samma vädervariabler och liknande viktningar som TMY. XMY baseras på att välja ytterligheter från grunduppsättningen i stället för medelvärden. Månader med de högsta och lägsta timmedelvärdena under basåren (1999–2013) slås samman till ett år med den varmaste sommaren och den kallaste vintern.

The Untypical Meteorological Year, UMY

Baserat på WYEC2 men i UMY används parametrar relaterade till max och min av temperaturer, solstrålning och vindhastighet som de viktigaste. UMY-filer ger resultat jämförbara med TMY2 under vanliga förhållanden (där en vanlig väderfil skulle räcka) men förbättrar förutsägelsen av den maximala energianvändningen vid svåra väderhändelser.