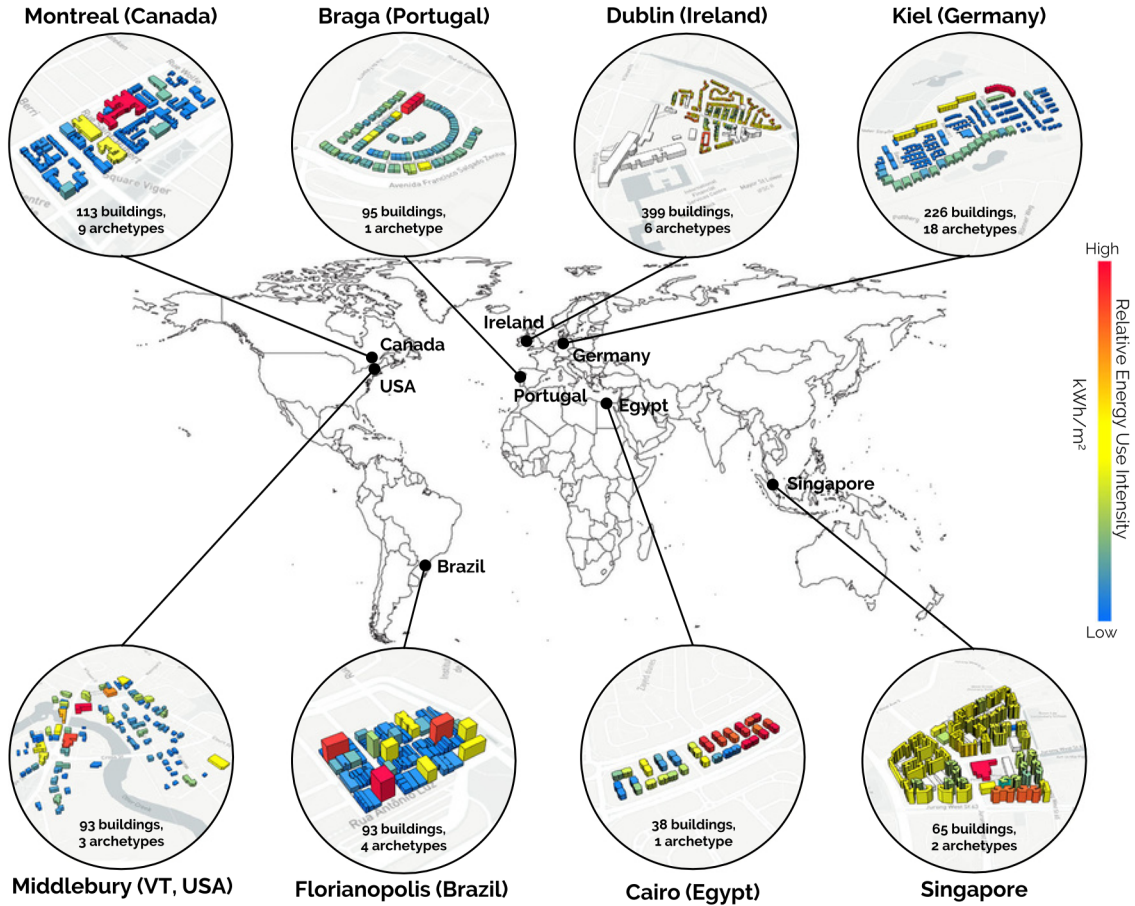


1



Şekil 1 | Sekiz şehir için temel kentsel bina enerji modelleri. Her binanın rengi, modeldeki diğer binalara kıyasla göreceli enerji kullanım yoğunluğunu yansıtmaktadır. Örneğin, iki arketipin tanımlandığı (yani konut ve ticari) Singapur'da, ticari bina (kırmızı renkte)

Bölgedeki tüm konut binalarının benzer türde sosyal konut daireleri olduğunu gösteren, konut binalarına kıyasla nispeten daha yüksek bir enerji tüketim yoğunluğu.

Bugünden itibaren şehirlerin bina kaynaklı emisyon azaltma hedeflerine ulaşma konusundaki zorlukları daha da artacaktır. Dünya genelinde sekiz şehir ve belediyeden temsilcilerle işbirliği gerçekleştirdik: Braga (Portekiz), Kahire (Mısır), Dublin (İrlanda), Florianopolis (Brezilya), Kiel (Almanya), Middlebury (Vermont, Amerika Birleşik Devletleri), Montreal (Kanada) ve Singapur. Şehirler, bina/kent bilimi posta listelerindeki katılım çağrıları ve ağlarımızdaki doğrudan bağlantılar temelinde belirlenmiştir. Katılım için bir gereklilik, ekiplerin bina enerji modellemesi konusunda belirli bir uzmanlığa sahip olması ve yerel şehir temsilcileriyle mevcut ilişkilere sahip olmalarıydı. Ayrıca, farklı iklimlere, sosyo-ekonomik demografik özelliklere, kültürlere, yönetim yapılarına ve boyutlara sahip çeşitli şehirleri hedefledik.

İşbirliği için eğitim hedefimiz, şehir temsilcilerini, daha sonra bağımsız olarak tüm yargı alanına genişletebilecekleri bina stoklarının parçaları/segmentleri için bir kentsel bina enerji analizi gerçekleştirmeleri amacıyla eğitmektir. Her şehir için, şehir temsilcileriyle bireysel ön atölye toplantıları, hedef belirleme ve teknik çalışma oturumları içeren ortak üç günlük uzaktan atölye çalışması ve başka bir bireysel brifing setinden oluşan bir çalışma çerçevesini izledik. Atölye Ocak 2021'de gerçekleştirildi. Açılış oturumunda, şehir temsilcileri mevcut binalar için karbon azaltma hedeflerini ve bu binalar için hangi iyileştirme önlemlerini düşündüklerini paylaşmaya davet edildi.

Daha sonra, bina ayak izlerinin, yüksekliklerinin, programının (kullanım türü) ve inşaat yılının mevcut olduğu mahallelerde 38 ila 399 bina arasında değişen sekiz tohum kentsel bina enerji modeli (UBEM) oluşturduk (Şekil 1). UBEM, binaların fiziksel temellere dayanan bir modeldir.

Isıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma ve ekipman için saatlik enerji tüketimini "olduğu gibi" koşullar ve olası iyileştirme yükseltmelerinin herhangi bir kombinasyonu için tahmin eden. Yapı özellikleri, bina yaşı, ısıtma, havalandırma ve klima sistemi özellikleri gibi geometrik olmayan bina özellikleri, çalıştandan önce her şehir için derlendi (bkz. Yöntemler).

Bu proje için bir "tohum" UBEM kavramı tanımlanmıştır. Tohum UBEM, bir yargı alanının sınırlı bir bölümünü kapsayan tam bir UBEM'in ölçeklendirilmiş bir versiyonudur. Atölyede tohum UBEM'lerle (ve daha az sayıda bina ile) çalışmak, çevik kalmayı ve yerinde analizi desteklemeyi kolaylaştırır. Tohum modeli, ideal olarak şehrin genel bina stokunu temsil etmelidir; yani, tüm binaların önemli bir bölümünü temsil eden bina tipolojilerini içermeli ve yakında önemli yenileme çalışmalarına tabi tutulacak bir alana yayılmalıdır. Doğru seçildiğinde, tohum modeli simülasyonu ve analiz sonuçları, tüm stok modelini yansıtabilir; çünkü daha fazla bina ile ortaya çıkan fark esasen bina geometrisinden kaynaklanmaktadır.

Tohum modelleri için bölgeler, katılımcı şehir temsilcileriyle yapılan istişareler sonucunda belirlendi. Florianopolis ve Montreal, konut, perakende ve daha büyük ticari binaları içeren tipik karma kullanımlı mahalleleri seçti. Braga, Dublin, Kiel ve Middlebury, şehir merkezini çevreleyen birçok benzer mahallenin temsilcisi olan ve yakında enerji iyileştirmeleri yapılması planlanan eski yerleşim alanlarını tercih etti. Kahire ve Singapur, bu şehirlerin inşaatının büyük bir kısmını oluşturan çok katlı kamu konut komplekslerine odaklandı. Örneğin, Singapurluların %80'inden fazlası kamu konutlarında yaşamaktadır.

Her çalışma alanı için, şehir temsilcilerinden gelen girdilere dayalı bir temel ve hem yüzeysel hem de derin iyileştirme senaryoları geliştirdik (bkz. Sonuçlar). Araştırma hedeflerimiz, şehir temsilcilerinin bina stoklarının UBEM tabanlı bir modelini kullanarak elde edebilecekleri değeri ve o sırada hangi belirli bina iyileştirme seçeneklerini düşündüklerini ölçmekti (bkz. Yöntemler). Çalıştayın sonunda gelecekteki gelişmeleri yönlendirmek amacıyla bazı gayri resmi geri bildirimler sağlasak da, her şehre özel optimum çözümler sunan bir "danışman" rolünü üstlenmekten kaçındık.

Bina iyileştirmelerine ek olarak, yerinde karbon emisyonu azaltımları için üst fiziksel sınır sağlamak amacıyla tam çatı kullanımı varsayılarak PV'den maksimum yerinde elektrik üretim potansiyelini tahmin ettik. Emisyon azaltma katkılarını bina iyileştirmelerinden ve şebeke karbonsuzlaştırmasından ayırmak için, gelecekteki karbon Sonuçlar bölümünde emisyonlar, mevcut varsayımlar çerçevesinde bir aralık olarak sunulmaktadır. Şekil 10, 2050 yılı için tahmini emisyonları, sırasıyla kira ve gelecekteki öngörülen şebeke emisyonları.

Bu çalışma, kentsel ölçekte enerji araştırmalarına ve politikalarına önemli bir katkı sağlamaktadır. birden fazla biçimde. Kentsel bina enerji modellemesi üzerine daha önceki çalışmalar esas olarak simülasyon araçlarının geliştirilmesi ve doğrulanmasıyla odaklanmaktadır ve Bu yeni teknoloji için potansiyel kullanımların benzerlerini belirlemek. Seçili Mevcut binaların güçlendirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu potansiyeli, örneğin, San Francisco, CA13 ve Venedik, İtalya'da hesaplanmıştır. Ancak bu çalışmalar, yazarların nasıl ve hangi şekillerde etkileşim bulduklarını açıklamamaktadır. yerel yönetimlerle. LA10015 ve Karbonsuz Boston6 çalışmaları ABD Ulusal Laboratuvarı veya üniversitelerden uzmanların, Los Angeles ve Boston'daki belediyelerle iş birliği yaparak özel olarak tasarlanmış, tamamen entegre sektörler arası modeller kullanarak karbon azaltma stratejileri geliştirdiği dikkate değer istisnalardır.

Bu makale, yerel ekiplerin yöntemi nasıl kullanacaklarını ve bağımsız olarak uygulayıp uygulayamayacaklarını, ayrıca katılımcılara kalıcı bir değer sağlayıp sağlayamayacaklarını anlamak amacıyla ölçeklenebilir bir UDEM yaklaşımının çok sayıda ve çeşitli şehir temsilcisiyle test edildiği ilk çalışmayı sunmaktadır.

yargı bölgeleri. Bulgularımız, hangi tür yapının Enerji politikası yapıcılarının mevcut bina stokları için değerlendirdikleri yenileme paketleri ile ortaya çıkan karbon emisyonu azaltımlarının politik olarak belirlenmiş hedeflerle nasıl karşılaştırıldığı. Bu çalışma, ulaşım, endüstriyel ve elektrik sektörlerini karbondan arındırmaya yönelik paralel çabalarla da örtüşmektedir.

Sonuçlar

Temel ve geliştirilmiş bina enerji senaryoları

Sekiz şehir, birçok kentlinin yaşadığı farklı kültürleri ve iklim bölgelerini temsil etmektedir. Aşağıda, şehir temsilcilerinin geliştirdiği bina iyileştirme senaryolarını özetlemekteyiz. Bu senaryolar, atölyeden önce şehir temsilcilerine sunulan ortak teknolojiler listesinden seçilen bina iyileştirmelerinin kombinasyonlarından oluşmaktadır (Yöntemlere bakınız). Her şehir için, genellikle sıgı (daha düşük maliyetli ve/veya veya uygulanması daha basit) ve derin (daha maliyetli ve/veya uygulanması daha zor) (Uygulama) iyileştirmeleri (Tablo 1). Temel ve yükseltme senaryolarının nasıl modellendiğine dair ayrıntılar Yöntemler bölümünde sunulmuştur.

Senaryolar için seçim süreci, senaryoya göre farklılık gösteriyordu. Şehir plancılarından sürdürülebilirlik direktörlerine ve yerel sivil toplum kuruluşlarına kadar uzanan şehir temsilcilerinin rolü. Bazı şehirler için tek bir temsilci senaryoları "dikte ederken", diğer şehir ekipleri ise şehirlerin genel yönetiminde farklılıkları yansıtan daha işbirlikçi bir yaklaşım sergilemiştir.

Tablo 1, her şehirdeki binalar için karbon emisyonu azaltma hedeflerini listelemektedir. Bazı şehirlerin 2030 ve 2050 için ayrı kısa ve uzun vadeli hedefleri bulunurken, diğerlerinin yalnızca 2050 hedefi mevcuttur veya hiç hedefleri yoktur. Bu bilgiler şehir temsilcileri tarafından sağlanmış ve mümkün olduğunca resmi politika belgeleri aracılığıyla doğrulanmıştır. Binaya özgü hedefler mevcut değilse, ekonomi genelindeki emisyon azaltma hedefleri kullanılmıştır.

alır. Bu sıfır emisyonlar, karbon monoksit amaçlanan idir.

tüketimi

Tablo 1 | Sekiz şehir için temel model tanımı ve geliştirme senaryoları

[illegible]

Karbon emisyonlarının dengelenmesi veya aşırı yenilenebilir enerji üretimi gerçekleştirilmesi gerekecektir.

Ekvatora yakın bir konumda bulunan Singapur, sürekli yüksek sıcaklıklar ve bağıl nem ile karakterize edilen tipik bir tropikal iklime sahiptir. Bina stoğu, orta büyüklükte konut birimlerine sahip yüksek katlı konut binaları, yaygın klima kullanımı ve ortalama hanehalkı elektrik tüketimini ılıman Fransa ile aynı seviyede tutmayı başaran sağlam inşaat uygulamaları tarafından şekillendirilmektedir. Singapur Kentsel Yeniden Geliştirme Kurumu'ndan (URA) katılan politika yapıcılar, ekipman yük azaltmalarına, pandemi ile ilgili uzaktan çalışma modellerinin yük eğrileri üzerindeki etkisine ve ayrıca bölgesel soğutma sistemlerinin enerji tasarrufu potansiyeline ilgi duyduklarını belirtmişlerdir. Araştırmanın kapsamını binalar için karbon azaltma yollarını belirleme atölye hedefi ile sınırlamak amacıyla, Singapur için iki yükseltme senaryomuz daha çok ilk ve son ilgi alanlarına odaklanmaktadır.

Kahire, ılıman kışları ve sıcak yazları olan subtropikal çöl iklimine sahiptir. Şehir, iklim değişikliği nedeniyle şiddetli sıcak hava dalgaları riskinin artmasıyla soğutmanın baskın olduğu bir yer haline gelmiştir. Katılımcı BM Habitat Mısır Ofisi, aşırı klima bağımlılığı olmadan nüfusun sağlıklı tutulması ve çatı fotovoltaiklerinin (PV) yaygın olarak konuşlandırılmasına odaklanmanın ikili hedefini sunmuştur. Ekip, bir karbon azaltma hedefi belirlemedi. Bölgedeki önceki deneyimlere dayanarak, sıg iyileştirmeler ve eski donanımlar için gelişmiş klima ve mekanik havalandırma (ACMV) ekipmanları için yük azaltmalarını test etme sürecine girmiştir.

Florianopolis, sıcak yazlar ve ılıman kışlarla karakterize edilen sıcak, nemli bir subtropikal iklime sahiptir. Atölye sırasında, şehrin binaları için herhangi bir karbon azaltma hedefi bulunmamakla birlikte, sırasıyla 2030 ve 2050 yıllarına kadar %43 ve %100 emisyon azaltma hedefleri Brezilya genelinde gündeme getirildi. Belediye temsilcileri ve yakınlardaki bir üniversiteden oluşan yerel ekibin ilgisini çeken teknolojiler, başlangıçta dış gölgelendirme gibi mimari müdahaleleri kapsamaktaydı.

Realtime algoritmaları ekipman yükleri ve ACMV ekipmanında iyileştirmeler. Atölye ilerledikçe, ekip, geri dönüşüm projelerinde dış gölgelendirmenin yüksek maliyetini ve sınırlı etkisini keşfettikçe, son iki teknoloji yükseltmesine giderek daha fazla odaklandı.

Braga'da, diğer Portekiz belediyelerinde olduğu gibi, önemli sayıda hane enerji yoksulluğundan muzdariptir. Sonuç olarak, iç mekan sıcaklıkları özellikle kış aylarında rutin olarak rahatsız edici seviyelere ulaşmaktadır. Braga ayrıca, yazların ısınmasıyla birlikte iklimin giderek daha fazla bir gereklilik haline geleceği, enerji maliyetlerini karşılayamayan haneler meydan okuyan bir eşik ikliminde yer almaktadır. Bina enerji kullanımı zaten düşük olduğundan, Braga'nın şehir planlama ofisi, enerji verimliliği ve sağlıklı birlikte iklim değişikliğinin sonuçları konusunda en çok endişe duymaktadır. "Sıg" iyileştirme için, çoğu hanenin konforunu korumak amacıyla klima kullanmaya başlaması ve ardından derin iyileştirme senaryosu için bina zarflarını yükseltmesi durumunda gelecekteki enerji kullanımını ölçmek üzere bir gelecek iklim dosyası kullanılmaktadır. İklim değişikliği tüm şehirlerdeki binaların enerji kullanımını ve emisyonlarını etkileyecek olsa da, eşik iklimleri bina iklimlendirme ihtiyaçlarında en dramatik değişiklikleri görecektir. Bu şehirler, bugün yaygın olarak klima kullanan diğer birçok şehrin aksine, soğutma sistemlerine olan talepte köklü değişiklikler yaşayacaktır. Kiel, Almanya'nın en büyük denizcilik merkezlerinden biridir ve bir alt okyanusiklim Atlantik ve Kuzey Denizi'nden gelen akımlardan etkilenmektedir. Kiel'deki çoğu evde aktif soğutma bulunmamaktadır ve geleneksel olarak vurgu, ısıtma enerjisi kullanımını azaltmak amacıyla yalıtım eklemeye yapılmıştır. Kiel Çevre Koruma Kurumu Müdürü tection, ısıtma yüklerini ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla yalıtım ve hava koşullarına dayanıklılık eklemeye ilgi gösterdi. Bu önlemler sıg iyileştirme senaryosu için uygulanmaktadır. Derin iyileştirme senaryosu kapsamında, kalan ısıtma yüklerini elektrikleştirmek için elektrikli ısı pompaları eklenir; bu, ülkenin Rusya'dan gelen doğal gazla olan bağımlılığını azaltmaya yönelik devam eden Alman çabalarıyla uyumlu bir önlemdir.

Dublin, nispeten ılıman yazlar ve soğuk, nemli kışlarla, genellikle ısıtmanın baskın olduğu, yumuşak bir iklime sahiptir. Birçok binanın yaşı ve durumu nedeniyle, termal zarf iyileştirmeleri bir öncelik öncelikler arasında sıralanmaktadır; bu nedenle şehir, sıg iyileştirme senaryoları için hava koşullarına dayanıklı hale getirme yükseltmeleri ve derin iyileştirmeler için ek duvar yalıtımı ile pencere değişiklikleri şeklinde koordineli grup iyileştirmelerini hedeflemektedir. Çalıştay sırasında, şehir temsilcisi mevcut bölge ısıtma sisteminin genişletilmesinin uygulanabilirliğini değerlendirirken ısı pompalarına ilgi göstermemiştir.

Middlebury, sıcak ve yağışlı yazları ile dondurucu kışları olan ABD'nin Vermont eyaletinde bulunmaktadır. Eyaletin, yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek penetrasyonuna sahip büyük ölçüde karbondan arındırılmış bir elektrik şebekesi mevcuttur. Yerel enerji komitesi ve Middlebury College'dan katılan temsilcilerin temel endişesi, ısı elektrifikasyonunun ve şebeke dayanıklılığının potansiyelini anlamak ve ölçmektir. Teknolojik olarak, bu hedefler, yeni elektrikli ısıtmanın kış aylarındaki en yüksek talebini azaltmak amacıyla alan ısıtması (sıg yenileme) ve zarf yükseltmeleri (derin yenileme) için hava kaynaklı ısı pompası benimsenmesine dönüşmektedir. Son olarak, Montreal, hidroelektrikten elde edilen istikrarlı, karbondan arındırılmış bir şebekenin avantajlarından faydalanmaktadır. Şehir, verimsizliği nedeniyle yaygın olarak kullanılan elektrikli dirençli ısıtmaya olan bağımlılığını azaltmayı hedeflemektedir. Sıg tadilat, elektrikli dirençli ısıtmayı, işletme maliyeti daha düşük ancak daha fazla karbon yoğunluğuna sahip doğal gazlı fırınlarla değiştirmektedir. Şehir, nihayetinde sakinlerini temiz elektrik kaynaklarıyla çalışan yer altı kaynaklı ısıtma pompalarına (derin tadilat) yatırım yapmaya ikna etmeyi ummaktadır. Doğal gazlı fırınların, bir kez kurulduktan sonra 15+ yıllık bir ömre sahip olduğu göz önüne alındığında, eski yaklaşım şehrin 2050 hedefi ile kolayca uyumlu değildir.

Enerji tüketim yoğunlukları

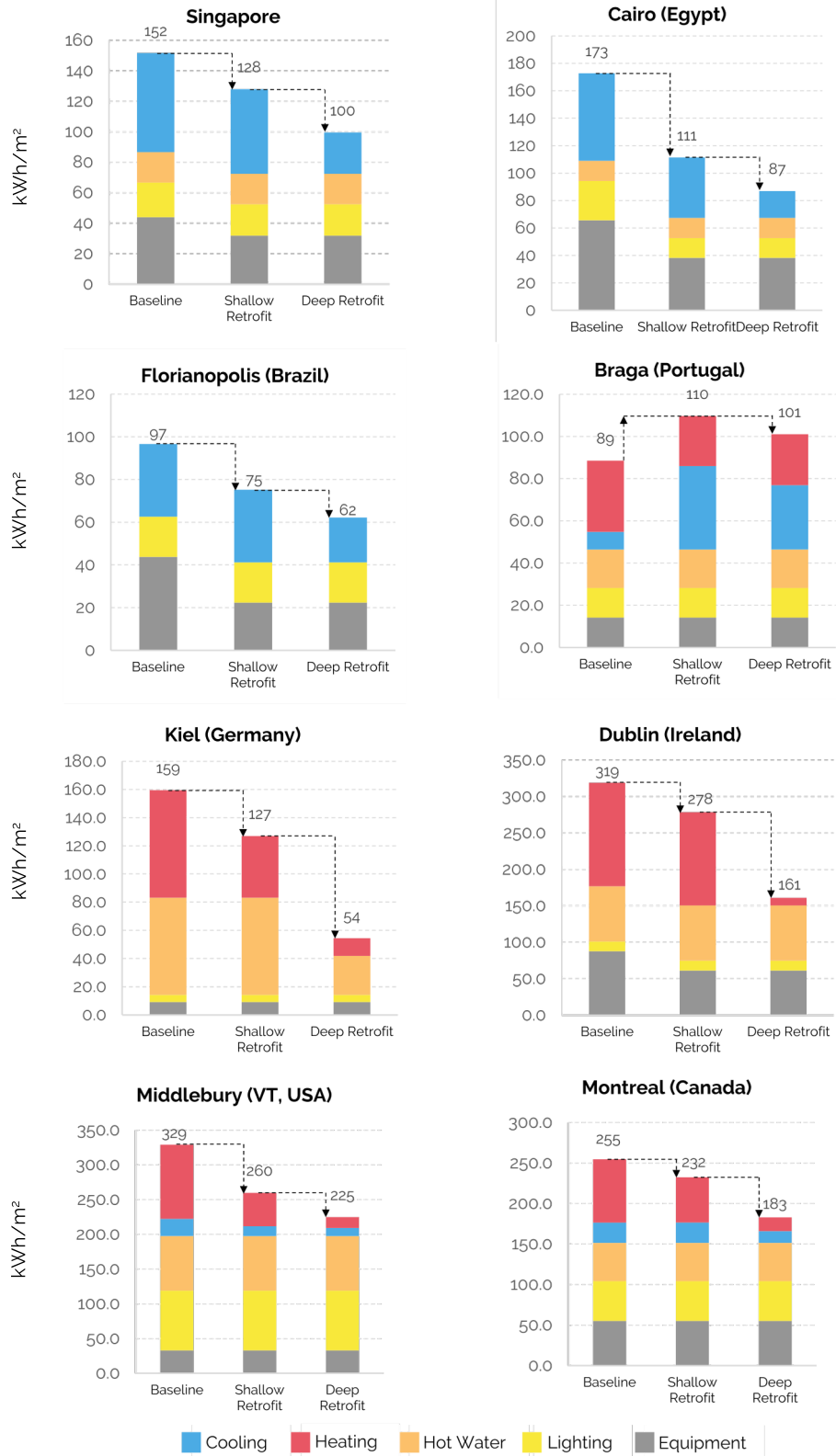
Tahmini yerinde temel enerji kullanım yoğunlukları (EUI) değişikliği göstermektedir.

Bragato için 89 kWh/m, Middlebury için 329 kWh/m (Şekil 2). EUI'ler Esas olarak program türü, iklim, inşaat standartları, mekanik sistemler ve kentsel tipolojiden etkilenmektedir. Isı için EUI alt kategorileri ısıtma, soğutma, aydınlatma, evsel sıcak su ve ekipman bu ilişkileri yansıtır; örneğin Kahire, Florianopolis ve Singapur'da soğutma ısıtma yükü olmadan talep baskındır. Buna karşılık, Dublin, Kiel, Middlebury ve Montreal ısıtma ağırlıklıdır. Braga hariç tüm durumlarda, EUI'ler hem sıg hem de derin iyileştirmeler için geçerlidir. Isınan iklim nedeniyle sakinlerin konut inşaatlarında AC ünitelerini yaygın olarak benimsemesi beklenen Braga'da, EUI, soğutma enerjisi kullanımındaki artıştan kaynaklanarak yükselmektedir. Genel EUI %24 artarken, daha ılıman kış sıcaklıkları nedeniyle ısıtma talebinde hafif bir azalma gözlemlenmektedir. Pencere ve sabit pencere çıkıntısı gölgelendirmelerini iyileştirmenin Florianopolis'te sınırlı bir etkisi vardır ve EUI'de simüle edilen azalma yalnızca %8 olarak gerçekleşmektedir. Bu önlemlerin yüksek maliyeti göz önüne alındığında, sıg veya derin iyileştirme senaryolarına dahil edilmemiştir. Diğer şehirlerde, fiş ve ekipman yüklerini azaltmaya yönelik basit hedeflere odaklanan sıg iyileştirmeler, EUI'de %13 (Dublin) ile %36 (Kahire) arasında düşüşlere yol açmaktadır. Kahire, aydınlatma ve ekipmanlardan kaynaklanan iç yükleri azaltmanın yanı sıra soğutma yüklerini de azaltma gibi ikili bir avantaj sağladığından, sıg iyileştirmelerden en büyük enerji verimliliği kazanımlarını elde etmektedir.

Daha kapsamlı yenilemeler, doğal olarak daha büyük tasarruflar sağlar.

Middlebury'de %32, Kiel'de %66. Isı pompaları, düşük maliyetli doğal gazın yaygın bulunması nedeniyle bu tasarrufların her zaman en düşük işletme maliyetleriyle örtüşmemesine rağmen, ısıtmanın baskın olduğu iklimlerde en büyük enerji verimliliği kazanımlarını sağlar. Örneğin, Kiel'de alan ısıtma için önemli gereksinimler bulunmaktadır ve ısı pompaları genel enerji tüketimini azaltmada etkilidir; ancak tarihsel olarak doğal gazlı ocaklardan daha maliyetlidir. Bu durum

2022, Ukrayna'daki çatışma nedeniyle gaz fiyatlarının artması, fosil yakıtlara bağımlılığın belirsizliğini vurgulamaktadır. Dublin ve Kiel gibi şehirlerde, EUI'nin büyük bir kısmı ısıtma ve evsel sıcak su ihtiyaçlarıyla bağlantılı olmasına rağmen, hava koşullarına uyum sağlama ve



Şekil 2 | Temel ve iyileştirme senaryoları için Enerji Kullanım Yoğunlukları (EUI) sekizşehir. Her şehir için bir temel senaryo ve iki ek senaryo tanımlanmaktadır. çeşitli nihai kullanımlar için enerji kullanım yoğunluklarını temsil eden renkler. Yüzeysel iyileştirmeler, doğal olarak EUI'de daha küçük azalmalar sağlarken, daha derin iyileştirmeler

Daha fazla sermaye, genellikle önemli ölçüde daha yüksek EUI azaltımlarına yol açar. Braga'da, "sıg yenileme" senaryosu 2080'de daha sıcak bir iklimi göz önünde bulundurur; bu nedenle soğutma talebi önemli ölçüde artar ve enerji tüketimini yükseltir.

yalıtım. Ancak, ısıtma emisyonlarını azaltmak için ek önlemler alınması gerekecektir. Montreal'de, elektrik yerine doğal gaz kullanmak EUI'yi yalnızca hafif bir şekilde etkiler; ancak hidroelektrik şebekesi son derece temiz olduğundan emisyonları artırır. Buna karşılık, ısı pompalarının kurulumu, temel EUI'den %28 oranında, esasen ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarından tasarruf sağlar.

Bina ile ilgili en yüksek talep düzeyi

Bina sektörünün karbondan arındırılmasının, tüm ısıtma sistemlerinin elektrikle çalıştırılmasını gerektireceği ve elektrik şebekesinin giderek daha fazla yenilenebilir enerjiye bağımlı hale geleceği konusunda yaygın bir görüş birliği bulunmaktadır. Her iki stratejiyi eş zamanlı olarak uygulamak için binaların şebekeye yük bindirmesini en aza indirmek son derece önemlidir. Şekil 3, her şehrin, Tablo 1'deki üç senaryo için binalardan gelen saatlik yıllık elektrik tepe talebini göstermektedir. Bu değer, mevcut binalardaki toplam elektrik talebinin en yüksek olduğu saati temsil etmektedir. Her tepe saatinin tarihi ve saat damgası her sütunda yer almaktadır. Çoğu politika temsilcisinin, yerinde karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla çatı üstü PV sistemlerinden bahsettiği göz önüne alındığında, Şekil 3'teki dördüncü sütun, tüm bina çatılarına PV dağıtımıyla birleştirilmiş derin iyileştirme senaryosu için yıllık tepe değerlerini göstermektedir. PV simülasyonları, tüm şehirler için %15 modül verimliliği varsaymakta ve mevcut çatı alanı ile yıllık güneş radyasyonuna göre değişiklik göstermektedir (Yöntemlere bakın).

Kahire, Florianopolis ve Singapur'da, sıg iyileştirmeler yıllık tepe noktasını %9'dan %29'a düşürürken, derin iyileştirmeler yıllık tepe noktasını %39'dan %55'e indirmektedir. Dublin'de ısıtma, tüm senaryolarda doğal gazla sağlanmakta, bu nedenle binalardan gelen elektrik tepe talebi tamamen kış aydınlatması ve ekipman yükleri tarafından yönlendirilmektedir ve sıg senaryoda yalnızca az bir miktar azalmaktadır. Kahire, Braga ve Kiel'de tepe noktaları yılın hemen hemen aynı zamanlarında kalmakta ve soğutma/ısıtma ağırlıklı iklimlerde akşam/sabah saatlerinde meydana gelmektedir. Bu zaman dilimlerinde güneş ışığının sınırlı mevcudiyeti göz önüne alındığında, PV dağıtımı tepe yüklerini önemli ölçüde etkilememektedir; ancak Florianopolis'te 23 Ocak saat 17:00'deki yaz ortası tepe noktası, 23 Mart saat 18:00'e ertelenmekte ve %20 oranında azaltılmaktadır. Montreal'de, alan ısıtması için doğal gaz veya ısı pompalarına geçiş, elektrikli dirençli ısıtmanın verimsizliği nedeniyle tepe noktasını üç kat veya daha fazla azaltacaktır. Kiel ve Middlebury'de elektrikli ısı pompalarının tanıtılması, binalardan gelen en yüksek talebi iki katından fazla artırmakta ve bu bölgelerde şebekeye önemli miktarda ek kapasite eklenmesi gerekeceğini göstermektedir. Middlebury'de, binaların en yüksek talep saati, soğutma odaklı yaz öğleden sonralarından kış sabahlarına doğru kayacaktır. Ancak, daha fazla iyileştirme önlemleriyle birleştirildiğinde, Middlebury'deki en yüksek seviye mevcut temel seviyeden daha düşük seviyelere düşürülebilir. Benzer şekilde, Braga'da AC ünitelerinin yaygın olarak benimsenmesi, şebekeye derin iyileştirme etkisi yaratmaktadır.

Şebeke talebi, binaların enerji politikasıyla bağlantılıdır. Binaların rolü. Bu tepe yüklerini ele almak amacıyla üretim ünlü bir kaynak olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde genellikle fosil yakıtlara dayanmaktadır ve işletme maliyetleri yüksek olabilir. Binalardan kaynaklanan tepe talebinin azaltılması, daha az fosil yakıtla çalışan üretim tesislerinin devreye girmesine, toplam yıllık elektrik şebekesi emisyonlarının düşmesine ve yeni dağıtım sistemleri inşa etme gereksiniminin azalmasına yol açar.

Genel olarak, sonuçlarımız çatı PV'nin yaygın kullanımının, üretim ve talepteki zamansal uyumsuzluk nedeniyle kamu hizmetlerinin bina ile ilgili elektrik zirvelerini yönetmelerine önemli ölçüde yardımcı olmayacağını göstermektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli binalara güç sağlamak için sıfır karbonlu bir elektrik kaynağı sunduklarından, genel bina ile ilgili karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Karbon salınımları

Şekil 4, tüm çatıların %100'ünde PV dağıtımıyla ve dağıtımsız temel, sıg ve derin yenileme senaryoları için yıllık karbon emisyonlarını sergilemektedir. Sıg ve derin senaryolar için elde edilen sonuçlar, 2021 ve tahmini 2050 emisyon faktörlerini dikkate alarak aralıklar halinde sunulmuştur.

Elektrik ve fosil yakıtlar. Altta yatan değerler, şehir temsilcileri tarafından sağlanmış, raporlardan referans alınmış ve mümkün olan yerlerde çapraz kontrol edilmiştir (Tablo 2). Kahire'nin karbondan arındırılmış şebeke emisyonları hedefi bulunmamaktadır. Aralıklar, emisyon azaltımlarını binalardan ve şebekeden ayırmaya yardımcı olur. Uygun durumlarda, şehrin Tablo 1'deki karbon emisyonu azaltma hedefleri de gösterilmiştir. Ek şebeke karbondan arındırma çabaları olmadan, binalar için toplam karbon emisyonu azaltımları, sekiz belediyenin tamamında sıg iyileştirmeler için %13 ile %36 ve derin iyileştirmeler için %34 ile %84 arasında değişmektedir. 2050 için öngörülen şebeke karbondan arındırma planları tamamen gerçekleştirilirse, bu sayılar bazı belediyelerde sıg ve derin iyileştirmeler için %100'e yükselecektir. Singapur'un bina enerji kullanımı tamamen elektrikli olarak modellenmiştir ve öngörülen şebeke emisyon azaltımları, hem sıg hem de derin iyileştirmeler için 2050 hedefini aşmasına yardımcı olacaktır. Şebekeden karbon gidermenin büyük bir kısmının tesis dışı kaynaklardan sağlanması gerekecektir çünkü çatı güneş enerjisi, Singapur'un bina stokunun çoğunu oluşturan araştırılan yüksek katlı konut binalarının yalnızca küçük bir kısmında emisyon azaltımına katkıda bulunabilir.

Kahire'nin kamuya açık bir şebeke emisyon azaltma planı (veya emisyon hedefi) mevcut değildir ve çatı üzerindeki güneş enerjisi üretim potansiyeli, mevcut emisyonları temel seviyeye göre %21 oranında azaltma kapasitesine sahiptir.

Florianopolis, Brezilya'nın tamamen karbondan arındırılmış bir şebeke genel hedefi doğrultusunda 2050 hedefini karşılama potansiyeline sahiptir. Temel seviyeden bu azalmaların %80'inden fazlası, derin iyileştirmeler ve çatı PV sistemleri aracılığıyla yerinde gerçekleştirilebilir.

Braga'nın çatı güneş enerjisi potansiyeli oldukça önemlidir ve derin iyileştirme senaryosunda elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan tüm karbonsuz elektriği sağlayabilir. Ancak, 2050 hedeflerine ulaşmak için diğer tüm son kullanımların elektrikleştirilmesi gerekecektir. Durum, şebekenin zaten büyük ölçüde karbondan arındırıldığı ve/veya çatı PV'nin kalan alanında elektrik talebini karşılayabileceği Kiel, Middlebury ve Montreal'de de benzerdir. Geleneksel net sıfır analizleri, yerinde fosil yakıt tüketiminin çatı güneş enerjisiyle telafi edilebileceğini varsayarken, bu muhasebe uygulaması yerel şebeke tamamen karbondan arındırıldığında geçerliliğini yitirir. Evsel sıcak suyun bu şehirlerin enerji kullanımına önemli ölçüde katkıda bulunduğu göz önüne alındığında (Şekil 2), hiçbirinin evsel sıcak su ısı pompalarını tercih etmemesi dikkat çekicidir. Belediyelerin, tamamen elektrikleştirilmiş veya yeşil hidrojen ya da başka bir karbon nötr yakıtla olsun, tamamen karbondan arındırılmış bir sistemi benimsemeleri hayati önem taşımaktadır.

Dublin'de, çatı PV sistemleri ile öngörülen karbonsuzlaştırılmış şebekenin entegrasyonu, derin iyileştirme senaryosunda kalan emisyonları yarıdan fazla azaltma potansiyeline sahiptir. Bu karbonsuzlaştırılmış şebeke dikkate alındığında, ısıtma sisteminin elektrikleştirilmesi, Dublin'in gelecekteki net sıfır hedefine ulaşmasına katkıda bulunabilir.

Atölye sonrası izleme

Atölyenin son gününde, tüm ekipler UBEM yaklaşımının yargı bölgelerinin bina kaynaklı karbon emisyonlarını azaltma çabalarını destekleyebileceğini öne sürdü. Eylül 2022'de, yani atölyeden yirmi ay sonra, "atölyeden hangi (varsa) faaliyet, takip modelleme çabaları, sonuçların kullanımı, tartışma, mevzuat/politika yapımı veya başka bir sonuç [çıktığını]" anlamak amacıyla sekiz şehir temsilcisiyle yeniden iletişime geçtik. Sekiz temsilciden yedisi talebimize yanıt vererek aşağıdaki faaliyetleri bildirdi.

Braga'da UBEM'lerin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla yerel katılımcı ortak (Lizbon Instituto Superior Técnico) tüm Portekiz için bir bina şablonu kütüphanesi geliştirmiştir. Bu kütüphane, 2022 yılında Porto, Coimbra ve Lizbon'dan temsilcilerin katıldığı başka bir çalıştayda test edilmiştir.

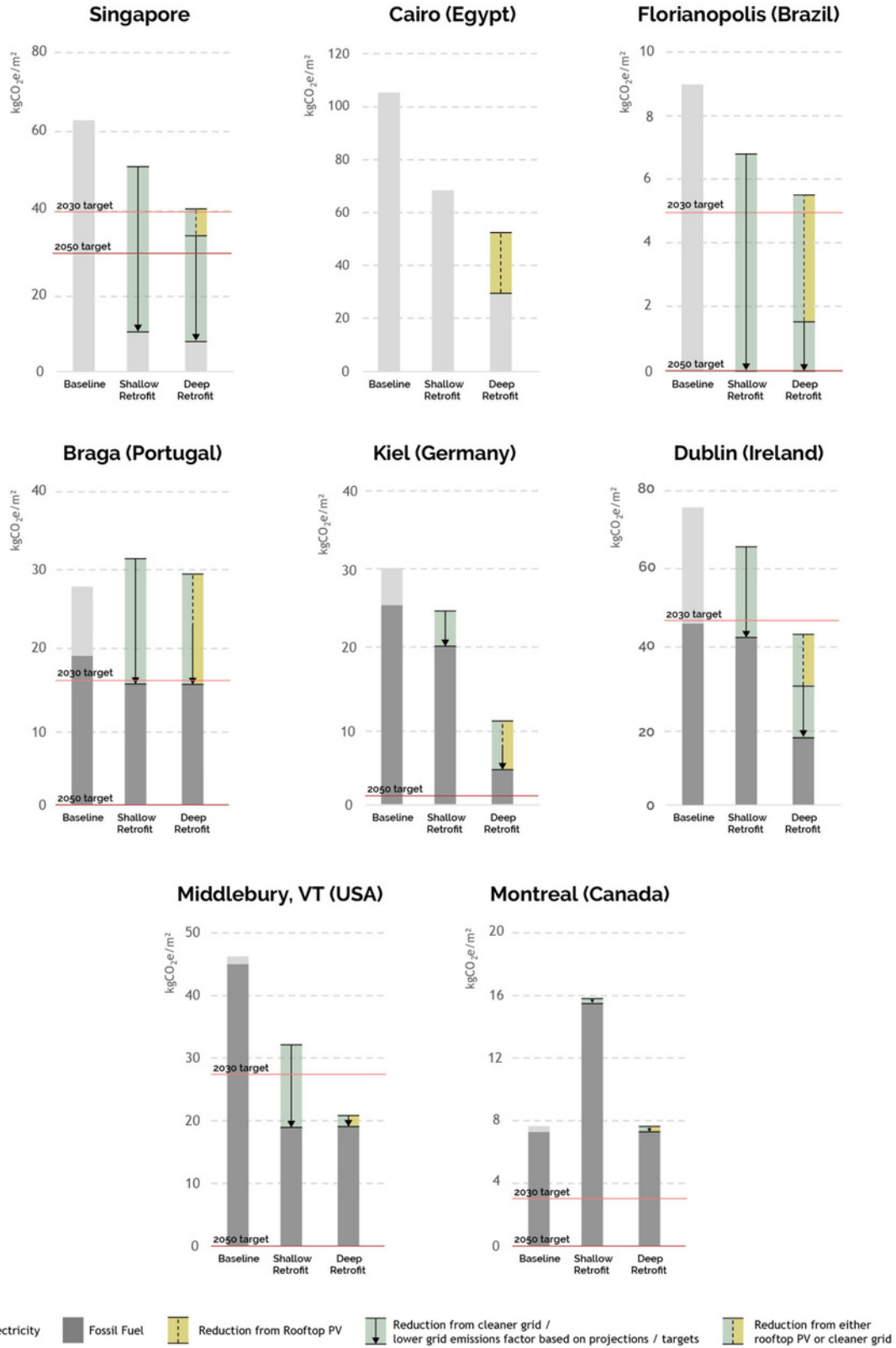
Dublin İklim Eylem Koordinatörü, şehrin UBEM'leri iyileştirme seçeneklerini modellemek için Kamu Sektörü Yenilik Fonu aracılığıyla ulusal hükümetten daha fazla fon sağladığını duyurdu.

Florianopolis'te, çalışma kamu politikaları için bir rehber ilkeler raporunun bir parçası haline geldi. Bu rapor, Verimli Şehirler Proje ile ilgili, Brezilya Konseyi için sürdürülebilir



Şekil 3 | %100 çatı fotovoltaiklerinin konuşlandırılmasını da kapsayan temel, sıg ve derin iyileştirme senaryoları için yıllık bina bazlı elektrik zirve talebi. Her senaryonun üzerindeki zaman damgası, bu zirvenin meydana geldiği yılı ve saati belirtir. Çatı PV'sinin konuşlandırılmasının, zirveyi azaltmadığını gözlemliyoruz.

Birçok belediyede, zirve genellikle günün başında veya sonunda gerçekleşir. Alan ısıtması için ısı pompalarının tanıtılması, Kiel'deki zirveyi önemli ölçüde artırmakta ve Middlebury'de zirve, yaz öğleden sonrasında kış sabahına doğru daha da kaymaktadır.



Şekil 4 | Mevcut ve öngörülen şebeke emisyon faktörleri ile %100 çatı fotovoltaik dağıtımı ve dağıtım olmaksızın, temel, sıg ve derin iyileştirme senaryoları için yıllık karbon emisyonları (normalize edilmiştir). Uygulanabilir olduğu durumlarda, karbon

Emisyon hedefleri kırmızı çizgilerle belirtilmiştir. Birçok şehir, kısa vadeli karbon emisyonu azaltma hedeflerine ulaşabilirken, uzun vadeli hedeflerine ulaşmak için şebekenin karbondan arındırılması ve son kullanım elektrifikasyonu gerekecektir.

Florianopolis Belediyesi'ne enerji verimliliği programının oluşturulmasında danışmanlık sağlayacak inşaat (CBCS). Kiel Üniversitesi, Shell Almanya ile işbirliği yaparak, yaklaşık 36.000 binadan oluşan şehrin UBEM'ini inşa etti.

Kent, verileri bölgesel ısıtma şebekesinin yönetimi ve gelecekteki teşvik programlarını bilgilendirmek için kullanmayı hedefliyor. Atölyenin ardından, Middlebury College'dan bir ekip, tohum UBEM'i Middlebury kasabasının geneline yaydı. Model

2050
yılına
kadar

59

Şebeke için bir önceki yılın aynı dönemiyle karşılaştırıldığında, 2018 yılında elektrik üretimi 10,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bu artışın başlıca nedenleri, hidroelektrik ve fosil yakıtların kullanılmasıdır. 2018 yılında elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtların miktarı 1,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Fosil yakıtların kullanılması, elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtların miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Fosil yakıtların kullanılması, elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtların miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Fosil yakıtların kullanılması, elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtların miktarı ile doğrudan ilişkilidir.

Daha da büyüyerek artık Addison County'nin 23 kasabasını tamamen kapsamak ve yaklaşık 12.000 binaya ev sahipliği yapmaktadır. ABD Enerji Bakanlığı, bina şablonlarını kırsal Vermont'a uyarlamak amacıyla bina stokunu daha iyi tanımlamak için temsili bir anket yürütmektedir.

Université de Montréal, belediye yönetimiyle iş birliği yaparak tüm metropol alanının "sanal ada" modelini geliştirmiştir. Proje, Institut Trottier de l'Énergie tarafından finanse edilmekte olup, modelin seçilmiş ölçülen veriler kullanılarak kalibre edilmesi ve büyük yeniden geliştirme geçiren mahallelerde bir ısı paylaşım ağı için planların geliştirilmesi amacıyla çalışmalar sürdürülmektedir.

Singapur'da Singapur Ulusal Üniversitesi öğrencileri, tohum modelini geliştirerek yüksek binalar için güneş enerjisi potansiyeline odaklanmıştır.

Tartışma

Politik etkiler

Birçok şehir, mevcut bina stoklarının karbon emisyonlarını azaltma aciliyetini kabul ederken ve iddialı hedefler belirlerken, belediye temsilcileri seçmenlerine iletebilecekleri net teknoloji yollarını tanımlamakta zorluk yaşamaktadır. Net sıfır karbon emisyonuna ulaşmayı hedefleyen Braga, Florianopolis, Kiel ve Montreal gibi şehirler için temsilcilerinin derin bir iyileştirme olarak gördükleri uygulamaların tam ölçekli bir şekilde hayata geçirilmesi ve tüm çatılara PV sistemlerinin yerleştirilmesi, mevcut binalar için bu hedefe ancak şebekelerin aynı anda karbondan arındırılması ve ısıtma ile sıcak su son kullanımlarının tamamen dönüştürülmesi durumunda mümkün olacaktır.

Elektrikli ısı pompası – ısı pompası üreticilerinin artık uygulanabilir çözümler sunduğu soğuk iklimlere kadar uzanmaktadır. Ancak, Montreal gibi şehirlerde ısı pompalarını benimsemeyi düşünen sahipler, şu anda bir binayı doğal gazla ısıtmanın daha ucuz olması ve son nesil hava kaynaklı ısı pompalarının bu kadar soğuk bir iklimde bir binayı güvenilir bir şekilde ısıtıp ısıtamayacağına dair hâlâ yaygın (çürütülmüş olsa da) bir şüphecilikle karşı karşıyadır. Geçiş çözümü olarak, Montreal'deki mevcut elektrikli dirençli ısıtma sistemleri yerinde kalabilir ve gerekirse yeni kurulan ısı pompalarını destekleyebilir. Aksi takdirde, bugün doğal gaz bazlı ısıtmaya geçmeye karar veren sahipler muhtemelen on yıllarca bu teknolojiyi kullanmaya devam edeceklerdir. Çalışmamıza katılan belediyelerin çoğu, mekan ısıtmasının elektrikleştirilmesiyle aynı ikilemle karşı karşıya olan ancak (en azından çalışma katılımcılarımız için) şu anda daha az ilgi gören evsel sıcak su kullanımını da göz ardı etmiştir. Bunun bir nedeni, soğuk iklimlerde evsel sıcak su ısı pompası kurulumlarının hâlâ nadir olması olabilir.

Girişte belirtildiği üzere, zaman içinde teknoloji benimsenmesi bu çalışmada eksik olan önemli bir faktördür. Bir banyoyu güncellemek veya bir uzantı eklemek gibi enerjiyle ilgili olmayan değişiklikleri içeren bina iyileştirme oranları tahminleri yılda yaklaşık %1 civarında seyretme eğilimindedir. Bu, test edilen teknoloji yollarıyla 2030 hedeflerini teorik olarak karşılayabilen şehirlerin, bu hedefe ulaşmak için derin iyileştirme senaryoları için yıllık iyileştirme oranını anında %12,5'e çıkarmaları gerektiği anlamına gelir. Bu durum, belediyelerin şu anda çok düşük bir uygulama oranıyla çalıştığını göstermektedir. Şekil 4, binalar ile elektrik şebekesi arasındaki sıkı ilişkiyi vurgulayarak, bunların birlikte karbondan arındırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Belediyeler, binalarını yenilemeleri konusunda seçmenlerine yardımcı olmak için daha iyi bir konumda olsalar da, bu tür değişikliklerin şebeke üzerindeki etkisini ve elektrikli araçların yaygın benimsenmesi gibi diğer eğilimleri yalnızca kamu hizmetleri anlamaktadır. Bu nedenle, tek bir sektörler arası karbon azaltma hedefi ile çalışmak yerine, şehirlerin bina stoklarının ne kadar tasarruf sağlaması gerektiği ve bunu ne zaman yapmaları gerektiği konusunda özel bir rehberliğe ihtiyaç duyduğu anlaşılmaktadır. Atölye bulgularımız, UBEM tabanlı yaklaşımların bu binaya özgü hedeflerin uygulanmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Atölye eğitimleri

Üç günlük atölye deneyimimiz ve atölye sonrası gerçekleştirdiğimiz anket, şehir yönetimleri arasında sıkça rapor edilen siyasi ivmeyi desteklemektedir.

Karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla, karbon emisyonu azaltma hedeflerini uygulayan belediye temsilcileri genellikle politika geliştirmelerine rehberlik etmesi için veri odaklı yöntemleri takdir etmektedir. Daha önce belirlenmiş karbon emisyonu azaltma hedefleri bulunmayan katılımcı şehirler, UBEM simülasyonlarının hedefleri belirli bir önlem kümesine bağlamalarına yardımcı olabilmesi nedeniyle atölyeden özellikle faydalandı. Örneğin, Florianopolis, atölyeden elde edilen sonuçları mevcut binalar için özel karbon azaltma hedefleri belirlemek amacıyla kullanma niyetini bildirmiştir.

Bir diğer atölye bulgusu, her şehrin belirli teknoloji ölçümlerinin iklim, politik ve ekonomik sınır koşulları ile mevcut binaların durumu nedeniyle önemli ölçüde değişiklik göstermesidir. İnşa edilmiş çevre için tek bir yaklaşım mevcut değildir. Bu çalışmada modellenen ve incelenen teknoloji ölçümlerinin yerel bina stoğu özelliklerini dikkate almasına rağmen, mutlaka en uygun maliyetli karbonsuzlaştırmayı veya EUI azaltımlarını sağlamayacağı ya da şehri/belediyeyi belirtilen karbon hedefine en hızlı şekilde ulaştırmayacağı vurgulanmalıdır. Bu durum şaşırtıcı değildir. Onlarca yıl önce, tasarım ekiplerinin belirli bir bina projesi için en uygun enerji tasarrufu önlemleri kombinasyonunu belirlemesine yardımcı olmak amacıyla bireysel bina enerji modelleri geliştirilmiştir.

Bu çalıştayda kullanılan tohum UBEM'leri, ilk kıyaslama sonucunu sağlarken, homojen olmayan bina stoklarına sahip şehirlerin tüm bina stoklarını modellemeleri gerektiği konusunda uyarıyoruz. Gerekli çaba, insan kaynakları veya ek uzmanlıktan ziyade esas olarak ek simülasyon süresi ve veri depolama, yani maliyetle ilgilidir. Neyse ki, farklı büyüklükteki sekiz katılımcı belediyeden dördü (Dublin, Kiel, Middlebury ve Montreal), UBEM'leri bölgesel ısıtma sistemleri veya iyileştirme teşvik programları oluşturma gibi yerel enerji altyapısını yönetmenin ayrılmaz bir parçası haline getirmek için kamu veya özel finansman sağlamayı başardı. Bu nedenle, bu yaklaşımın ölçeklenebilir olduğu sonucuna varıyoruz ve dünya genelindeki belediyeleri, temel çizgileri belirlemek ve çeşitli teknolojiler için tasarruf potansiyelini tahmin etmek amacıyla benzer veri odaklı çalışmalar yürütmeye teşvik ediyoruz. Hangi tür binalarda hangi yükseltmelerin yapılması gerektiğini tanımlayan ortaya çıkan politika planları, nihayetinde bu değişiklikleri uygulamak için ödeme yapmak zorunda olan bireysel ev sahipleri, katkılarının daha geniş bir bağlamda nasıl uyduğunu anlayabildikleri için siyasi fikir birliği oluşturmak için etkili olabilir. Böyle bir analiz ayrıca şehirlerin, örneğin evsel sıcak sudan gelen enerji kullanımını göz ardı etmemesini sağlar.

Belediye çalışanlarının bugün karşılaştığı çok sayıda görev göz önüne alındığında, daha fazla STK veya sürdürülebilirlik danışmanlık ofisinin, uzun vadeli enerji politikalarını şekillendirmek amacıyla şehir yönetimlerine UBEM tabanlı karbon azaltma stratejileri sunmaya başlaması muhtemel görünmektedir.

Politika hedeflerini somut eylemlerle uyumlu hale getirmek amacıyla teknolojik bir yol sunan bu giriş atölyelerinin ötesinde düşünerek, şehir yönetimlerinin bir dizi takip egzersizine girmesi gerekecektir. Bu egzersizler, istenen yükseltmelerin ev sahipleri için maliyetlerini dikkatlice değerlendirmeyi, uygun vatandaşlar arasında mevcut teşvik programları konusunda farkındalığı artırmayı ve potansiyel olarak demografik spektrumda iyileştirme önlemlerinin uygulanmasını sağlayan yeni sübvansiyon programları için lobi yapmayı içermektedir. Yerel bir iş gücünü bu değişiklikleri adil maliyetlerle uygulamak üzere eğitmek de hayati önem taşımaktadır. Son olarak, yeni inşaatlardan kaynaklanan emisyonları ele alma çabaları, emisyon hedeflerine ulaşmak için kritik bir öneme sahip olacaktır.

Mevcut binalar için politik olarak yönlendirilen karbon azaltma hedefleri, hem planlanan yükseltmelerin kapsamı hem de uygulama hızı açısından teknik gerçeklerden şu anda bir miktar kopmuştur. Son zamanlarda geliştirilen kentsel bina enerji modelleme iş akışlarının, düşük çabayla yaygın olarak uygulanabilir hale geldiğini ve belediye karar vericileri için eyleme geçirilebilir bilgiler sunabileceğini göstermekteyiz. Bu araçlarla belediyeler, bu önlemleri hayata geçirebilecek bir iş gücü eğitirken, bina sahiplerini yükseltme konusunda ikna eden finansal teşvik programları geliştirebilirler. Ayrıca, iddialı ancak gerekli emisyon azaltma hedeflerine ulaşma çabasında hiçbir emisyon azaltıcı müdahalenin göz ardı edilmemesini sağlarlar.

Tablo 3 | Belediye temsilcilerine yönelik atölye öncesi anket soruları

Şehriniz veya belediyeniz hangi bina iyileştirme teknolojilerine daha fazla ilgi gösteriyor?
Kontrol stratejileri (örneğin akıllı termostatlar) Bölgesel enerji sistemleri (örneğin düşük sıcaklıklı bölge ısıtması) Zarf iyileştirme (örneğin cephe, çatı, pencereler, hava koşullarına dayanıklılık vb.) Aydınlatma (örneğin LED'ler) Isı pompaları (örneğin jeotermal ve/veya hava kaynaklı vb.) Pasif tasarım stratejileri Güneş fotovoltaikleri Diğer

Tablo 4 | Temel, sıg ve derin güçlendirme bina simülasyon şablonları için aydınlatma güç yoğunlukları ve ekipman yüklemeleri

Şehir	Arketip	Aydınlatma güç yoğunluğu [W/m ²]			Ekipman güç yoğunluğu [W/m ²]		
		Temel	Sıg yenileme	Derin	Temel	Sıg yenileme	Derin
Braga	Ticari Konut	hat	AÇIK 5 4 4	yenileme	hat	AÇIK 13 7 7	yenileme
	Ticari Konut	çizgisi	AÇIK 5 9,13 5	AÇIK 1,5 4 4	çizgisi	AÇIK 7 11,3 4,5	AÇIK 6 7 7
Kahire	Ticari Konut	AÇIK 5	1,5 1,5 12 2,6 12	AÇIK 5 9,13	AÇIK 13	2 2 8 10 8 4 10,5	AÇIK 7 11,3
	Ticari Konut	8 8	7 8 5	5 1,5 1,5 12	12 12	8	4,5 2 2 8 10
Dublin	Ticari Konut	AÇIK 5		2,6 12 7 8 5	AÇIK 10		8 4 10,5 8
	Ticari Konut	9,13 5			24,2 6 2		
Florianópolis	Ticari Konut	1,5 1,5 12			2 8 10 8		
	Ticari Konut	2,6 12 7			4 14,5		
Nasıl		11,5 9			14		
Orta Doğu							
Montreal							
Singapur							

Gösterilen değerler, birden fazla şablona sahip şehirler için tüm bu türlerin ortalamalarını yansıtmaktadır.

Tablo 5 | Temel, sıg ve derin iyileştirme şablonları için ortalama ısıtma ve soğutma COP değerleri

Şehir	Isıtma COP değeri			Soğutma Verimliliği (COP)		
	Temel hat çizgisi	Sıg yenileme	Derin yenileme	Temel hat çizgisi	Sıg yenileme	Derin yenileme
Braga Kahire	0,9	0,9 AÇIK	0,9 3 3,5	2	3 2	me
Dublin	AÇIK	0,9 AÇIK	3 4 Yok	ÜZE	ÜZERİNDE	3 4,5 5
Florianópolis	0,65	1 2 0,95		RİN	3	ÜZERİ
Kiel	AÇIK	AÇIK		DE 3	ÜZERİNDE	NDEN
Middtebury	1 0,9			ÜZE	3,5 3 3,23	4
Montreat	1			RİN		ÜZERİ
Singapur	AÇIK			DE 2		NDEN
				3		4 6,5
				3,23		

Yöntemler

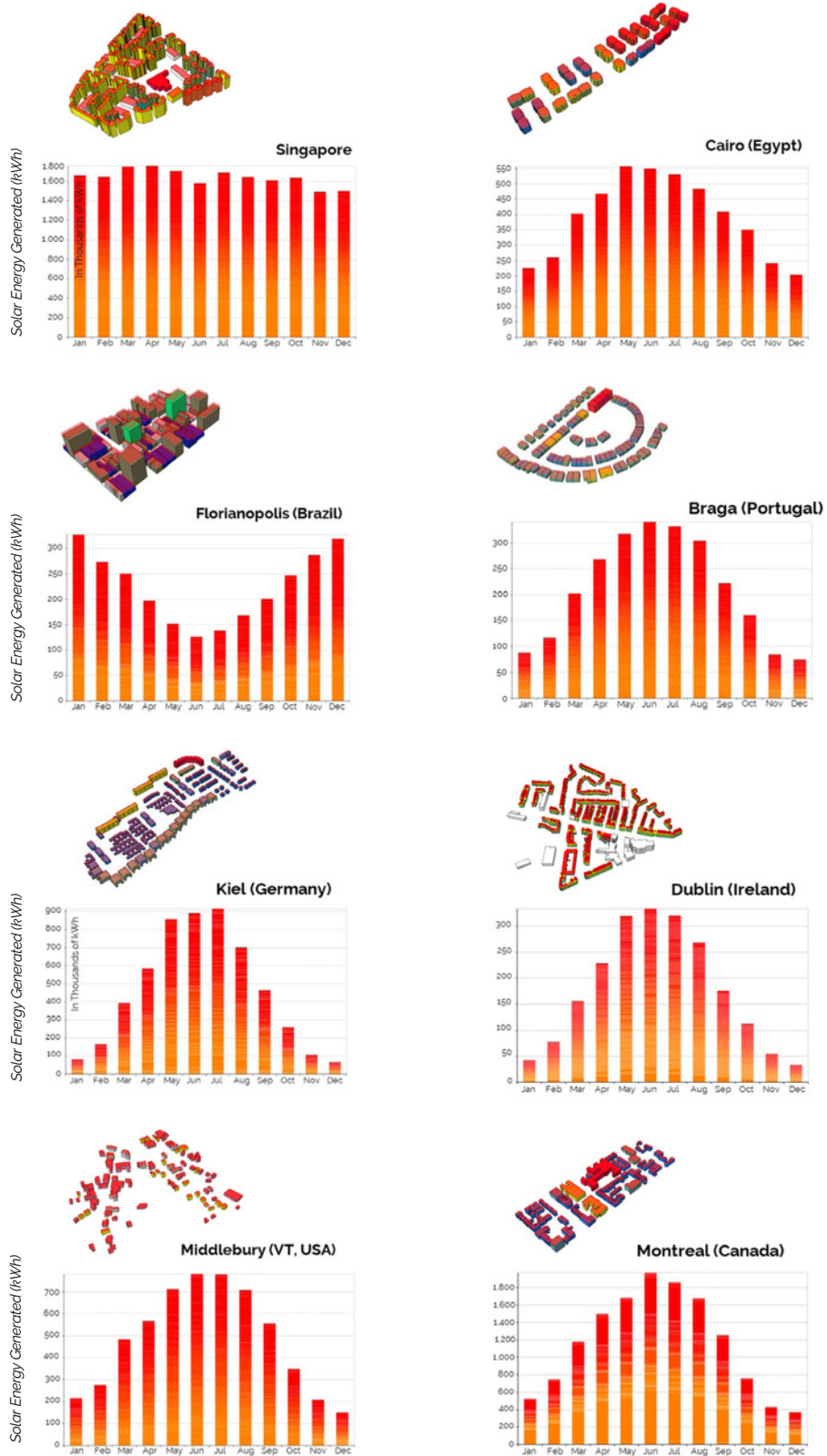
Sekiz şehirde tutarlı bir çalışma çerçevesi dağıtıyoruz. Özellikle, politika hedeflerini ve karbon emisyonu azaltma hedeflerini belirlemek amacıyla öncelikle sekiz şehrin temsilcileriyle iş birliği yapıyoruz. Ardından, yerel bina stokunu (çekirdek mahalleler) temsil eden prototip bölgeleri belirlemek için her şehirle birlikte çalışıyoruz. Son olarak, bina ayak izlerini ve bina yüksekliklerini içeren coğrafi bilgi sistemi (CBS) dosyaları ve ayrıca

yapı stokunun geometrik özellikleri, inşaat özellikleri, pencere-duvar oranları, mekanik sistem tipleri ve doluluk profilleri gibi unsurlar dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere. Her şehir için hava durumu verilerini kamuya açık kaynaklardan temin ediyoruz.

Bu girdiler, her şehir için tohum kentsel bina enerji modelleri oluşturmak ve mevcut koşulların temel operasyonel enerji simülasyonunu gerçekleştirmek amacıyla birleştirilir. Ardından, iki türev tohum UBE'nde sıg ve derin iyileştirme senaryoları uygulanır ve enerji tüketimini, en yüksek talebi ve karbon emisyonlarını belirlemek için birden fazla simülasyon gerçekleştirilir. Nihayetinde, elde edilen sonuçlar geri bildirim ve tartışmalar için şehir temsilcilerine sunulur. Seçilen adımlarla ilgili daha fazla ayrıntı aşağıda yer almaktadır.

Karbon azaltma hedefleri

Katılımcı şehirler, büyüklük, iklim, demografi, kentsel tipolojiler ve bina özellikleri açısından farklılıklar gösterse de, çalışmamızdaki şehirlerin çoğu en azından ekonomik düzeyde karbon emisyonu azaltma stratejilerine veya iklim eylem planlarına sahiptir. Bu hedefler genel olarak Paris İklim Anlaşması ile uyumludur ve çoğu planın zaman çizelgeleri arasında kısa vadeli bir hedef ile 2050 yılına kadar ekonomik düzeyde net sıfır emisyonu hedefleyen uzun vadeli bir hedef bulunmaktadır. Ancak, katılımcı sekiz şehirden yalnızca beşi ayrıntılı bir karbon envanterine sahip olduklarını ve yalnızca dördünün binalar için özel olarak karbon azaltma planlarına sahip olduğunu belirtmektedir. Katılımcı şehirlerin çoğu, binalarının karbon azaltma hedeflerini ve amaçlarını başlangıçta şirket içi ekipler, hükümet kurumları ve



Şekil 5 | Sekiz şehir için güneş enerjisi analizi ve yıllık güneş enerjisi verimliliği. Güneş enerjisi potansiyelini analiz etmek amacıyla Rhinoceros3D CAD ve Grasshopper görsel programlama/komut dosyası oluşturma ortamında özel bir görsel programlama betiği geliştirdik. Özellikle, betiğimiz çatı alanlarını yüzey normalinin z eksenine doğru baktığı yatay yüzeyler olarak dışarı aktarır. Alanlara dayanarak,

Hava durumu dosyası, potansiyel gölgeleme ve her şehrin güneş panellerinin verimlilikleri doğrultusunda, her bölge için yıllık enerji verimini (kWh cinsinden) üretmek amacıyla modelleme ve simülasyon çalışmaları gerçekleştiriyoruz. Çubuk grafikler, tohum mahallelerindeki tüm çatılar için bir yıl boyunca üretilen toplam güneş enerjisini sergilemektedir.

Dış danışmanlar. Sadece iki şehir, hedeflerini bilgilendirmek amacıyla daha önce veri odaklı yöntemler kullandıklarını bildirdi.

İklim verileri

Her şehrin yerel iklim koşullarını tanımlamak amacıyla yıllık bir hava durumu dosyasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sekiz yargı bölgesinin her biri için çevrimiçi olarak ücretsiz erişilebilen tipik meteorolojik yıl (TMY) hava durumu dosyalarını kullanmaktayız. TMY'ler, boylam, enlem, yükseklik, aylık ortalama yer sıcaklığı, tarihsel saatlik kuru ampul sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi konuma özgü nitelikleri içeren metin dosyalarıdır. Braga şehri üzerindeki iklim değişikliğinin etkisini incelemek amacıyla, bölgedeki potansiyel gelecekteki iklimi temsil eden 2080 yılı için dönüştürülmüş bir hava durumu dosyası oluşturmak üzere CCWeatherGen aracını kullanacağız.

Arketiplerin oluşturulması

Mevcut bir bina stokunu modellemek amacıyla, binalar benzer gruplara veya arketiplere ayrılmalıdır. Tüm arketipler için, bina simülasyon şablonları geliştirilmelidir. Bu şablonlar, inşaat uygulamalarından kullanım çizelgelerine, ayar noktalarına ve HVAC sistemi performansına kadar uzanan geometrik olmayan bina bilgilerini içermektedir. Bu, her şehrin mevcut ve tarihi inşaat uygulamaları hakkında uzman bilgisi gerektirdiğinden, analizin en zorlu kısmıdır. Bu görevi ele almak için, bina stokunu inşaat sürecine ve kullanım türüne (yani konut, ticari, perakende vb.) göre arketiplere ayırmak gelenekseldir. ABD ve Kanada için, ABD Enerji Bakanlığı, Middlebury ve Montreal için kullanılan Ticari Referans Binaları biçiminde 16 program türü ve 16 iklim bölgesi için ayrıntılı bina açıklamaları sunmaktadır. Dublin için Buckley ve diğerleri (2021), "from the European Tabula Project flow to convert stock data into archetype templates used for this analysis" adlı bir çalışma önermiş ve doğrulamıştır. Almanya da Tabula projesine katıldığı için Kiel için benzer bir yaklaşım benimsenmiştir. Braga için, daha önce Monteiro ve arkadaşları tarafından Portekiz bina stoğu için geliştirilen UBEM şablonları kullanılmıştır. Kahire için, Kuveyt'teki önceki bir projeden doğrulanmış bina şablonları tercih edilmiştir. Singapur'da, ABD Enerji Bakanlığı İklim Bölgesi 2A için Referans Binaları ile başlanmış ve şehrin modelleme ekibinin bir parçası olan yerel bina bilimi uzmanlarıyla çalışarak bunlar yerel bağlama göre ayarlanmıştır. Florianopolis'te, atölyeye katılan Santa Catarina Federal Üniversitesi'nden bina simülasyonu uzmanları tarafından sağlanan şablonlara güvenilmiştir. Tablo 2, sekiz şehrin temel arketipleri ve CBS verileri için temel bilgileri özetlemektedir. Tablo 2'de ayrıca her yargı alanındaki elektrik tüketiminden kaynaklanan tüm karbon emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan 2021 ve tahmini 2050 elektrik emisyon faktörleri de belgelenmektedir.

UBEM'in gelişimi

Kentsel bina enerji modellemesi (UBEM), kentsel ölçekte birden fazla binanın termal performansını, alan şartlandırma yüklerini ve enerji tüketimini simüle etmek amacıyla fizik tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. Yazarlar daha önce, bina ayak izleri, bina yükseklikleri ve program türlerini içeren coğrafi bilgi sistemleri (GIS) şekil dosyalarına dayalı olarak kentsel bina enerji modellerini hızlı bir şekilde üreten, çeşitli kullanım senaryoları için web tabanlı bir araç (UBEM.io) geliştirmişlerdir. UBEM.io, kullanıcı etkileşimi ve girdileri için JavaScript (ve React JavaScript kütüphanesi) kullanılarak tasarlanmış bir ön uçtan oluşmaktadır. Python programlama diliyle geliştirilen bir arka uç, uygulama programlama arayüzlerini (API'ler) ve işlevleri sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcıların binaların fiziksel özelliklerini, mekanik sistemlerini, doluluk profillerini ve diğer niteliklerini tanımlamak için bina parametre şablonları atamasına olanak tanıyan bir bina şablonu kütüphanesi ile senkronize olmaktadır.

Tüm sekiz şehir için temel kentsel yapı enerji modelleri, yukarıda belirtilen girdi GIS, TMY ve şablon dosyaları kullanılarak UBEM.io aracılığıyla oluşturulmuştur. Ardından kentsel yapı

Rhino-ceros3D bilgisayar destekli tasarım (CAD) ortamı için bir simülasyon eklentisi olan Urban Modeling Interface (UMI) kullanarak enerji modelleme ve bina performans simülasyonları gerçekleştirilir. UMI, mekan koşullandırmasını (örneğin ısıtma, soğutma, havalandırma), ekipmanı ve diğer yükleri ile bunlara bağlı enerji tüketimini simüle etmek amacıyla EnergyPlus simülasyon motorunu kullanır. EnergyPlus, ısı transferi, hava ve diğer termal ölçümler için ayrıntılı fizik tabanlı hesaplamalar gerçekleştiren, tüm bina konsolu tabanlı bir enerji modelleme motorudur.

Tohum UBEM'leri için ölçülmüş bina enerji verisi mevcut olmasa da, birden fazla UBEM çalışmasının karşılaştırılmasına dayanarak, dikkatlice seçilmiş şablonlara sahip kalibre edilmemiş temel UBEM'lerimiz, yıllık enerji tüketimini tahmin etmekte ve (daha da önemlisi) mahalle düzeyinde çeşitli iyileştirme önlemlerinden elde edilen enerji ve karbon emisyonu tasarruflarını tahmin etmekte yeterince doğru bilgi sunmaktadır. Bunun nedeni, bireysel binalar için simülasyon hatalarının kentsel ölçekte genellikle birbirini dengeleme eğiliminde olmasıdır.

Retro-senaryolar

Temel tohum UBEM'lerini oluşturduktan sonra, Tablo 1'de belgelenen paydaş girdisine dayalı sıg ve derin iyileştirme arketipi şablonları geliştiriyoruz. Çalıştay öncesinde, şehir temsilcilerine Tablo 3'te ortak bina teknolojilerinin bir listesi sunulmuştur. Tablo 4 ve 5, sıg ve derin iyileştirme yükseltmeleri için temel simülasyon varsayımlarını sağlamaktadır. Ardından, ortaya çıkan temel ve yükseltme senaryoları çalıştırılır ve sonuçlar saatlik aralıklarla raporlanır. Yıllık kümülatif enerji tüketimi, yıllık karbondioksit emisyonlarını raporlamak için çeşitli emisyon faktörleriyle birlikte kullanılırken, saatlik sonuçlar tepe talebi belirlemek amacıyla değerlendirilir. Bu, binalardaki tüm elektrik son kullanımlarında elektrik tüketiminin en yüksek olduğu ve yıllık tepe talep değerini (kW cinsinden) belirleyen yılın saatidir.

Fotovoltaik modelleme ve simülasyon süreçleri

Çatı PV potansiyelini simüle etmek amacıyla, Rhinoceros3D CAD ortamında kullanılan bir çevresel performans ve analiz aracı olan ClimateStudio50 aracılığıyla çağrılan EnergyPlus PV modülüne güveniyoruz. Simülasyonlar, tohum UBEM'lerindeki tüm çatı alanlarına modüllerin yerleştirilmesiyle %15'lik PV modül verimliliği varsayımında bulunmaktadır. Hesaplamalar, PV'den elde edilebilecek potansiyel elektrik üretimini tahmin ederken komşu binalardan kaynaklanan gölgelemeyi dikkate almaktadır. Şekil 5, her belediye için ortaya çıkan aylık güneş enerjisi verimini göstermektedir.

Veri erişilebilirliği

Bu çalışma için şehir temsilcileri tarafından sağlanan belirli bina verileri gizlilik endişeleri nedeniyle saklıdır; ancak bunun dışında tohum modellerine ilişkin veriler talep üzerine temin edilebilir.

Kodun kullanılabilirliği

UMI47 ve UBEM.io46, herkese açıktır ve isteğe bağlı olarak belirli kod depoları ile özel betiklerle birlikte ücretsiz olarak kullanılabilir. Yöntem, çoğaltılabilir ve herhangi bir şehir veya belediye için ölçeklenebilir.

Referanslar

1. Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı, "BM, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %68'inin kentsel alanlarda yaşayacağını tahmin ediyor," 18 Mayıs 2018. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects>. Erişim tarihi 20 Kasım 2020. Dasgupta, S., Lall, S. ve Wheeler, D. "Küresel karbon emisyonlarını azaltmak: şehirler nerede duruyor?", Dünya Bankası Blogları, 5 Ocak 2022, <https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/cutting-global-carbon-emissions-where-do-cities-stand>. Erişim tarihi 13 Eylül 2022.

3. Milhahn, K. "UNNews: Climate Change," 18 September 2019. <https://news.un.org/en/story/2019/09/1046662>. Accessed 2 Feb 2021.
4. International Institute for Sustainable Development, "77 Countries, 100+ Cities Commit to Net Zero Carbon Emissions by 2050 at Climate Summit," IISD SDG Knowledge Hub, 24 September 2019. <https://sdg.iisd.org/news/77-countries-100-cities-commit-to-net-zero-carbon-emissions-by-2050-at-climate-summit/>. Accessed 20 Nov 2020.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change, "Buildings in: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel," Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2014.
6. IEA, "Sustainable Recovery," IEA, Paris, 2020.
7. Weber, R., Mueller, C. & Reinhart, C. "Building for Zero, The Grand Challenge of Architecture without Carbon," SSRN, no. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3939009, 2021.
8. Timperley, J. "UK homes need 'deep efficiency retrofit' to meet climate goals," Carbon Brief, 11 October 2018. <https://www.carbonbrief.org/uk-homes-need-deep-efficiency-retrofit-meet-climate-goals>. Accessed 2 Feb 2021.
9. Urbanek, L. & Shahyd, K. "Biden Plan Promises Better Buildings, for Climate and Equity," NRDC, 17 November 2020. <https://www.nrdc.org/experts/lauren-urbanek/biden-plan-promises-better-buildings-climate-and-equity>. Accessed 2 Feb 2021.
10. Berzolla, Z., Ang, Y. Q. & Reinhart, C. "Combining Urban Building Energy Models with Retrofit Adoption Models for Time-Dependent Carbon Emissions Projections," in Proceedings of the 2022 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2022.
11. Ang, Y. Q., Berzolla, Z. M. & Reinhart, C. "From concept to application: A review of use cases in urban building energy modeling," Appl. Energy 279, 115738 (2020).
12. Ang, Y. Q. et al. "Multi-objective optimization of hybrid renewable energy systems with urban building energy modeling for a proto-typical coastal community," Renew. Energy 201, 72–84 (2022).
13. Chen, Y., Hong, T. & Piette, M. A. "City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study using CityBES," in Building Simulation 2017, San Francisco, California, 2017.
14. Tezo, L. et al. "Large scale energy analysis and renovation strategies for social housing in the historic city of Venice," Sustain. Energy Technol. Assess. 52, Part A (2022).
15. National Renewable Energy Lab, "The Los Angeles 100% Renewable Energy Study (LA100)," U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information, United States, 2021.
16. Cleveland, C. J. et al. "Carbon Free Boston Summary Report," Boston Green Ribbon Commission, Boston, MA, 2019.
17. World Energy Council, "Household Electricity Use," World Energy Council, 2012. <https://wec-indicators.enerdata.net/household-electricity-use.html#/household-electricity-use.html>. Accessed 9 Dec 2021.
18. Energy Market Authority, "Publications and Statistics," Energy Market Authority, 2021. <https://www.ema.gov.sg/Statistics.aspx>. Accessed 9 Dec 2021.
19. Raman, G. & Peng, C.-H. J. "Electricity consumption of Singaporean households reveals proactive community response to COVID-19 progression," Proc. Natl Acad. Sci. USA. 118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026596118>, (2021).
20. Temasek, "Bringing Distributed District Cooling to Our Town Centres - A Cool Solution for A Greener Singapore," 19 August 2021. <https://www.temasek.com.sg/en/news-and-views/news-room/news/2021/distributed-district-cooling-for-a-greener-singapore>. Accessed 22 Oct 2021.
21. Khalil, H. A. E. E., Ibrahim, A., Elgendy, N. & Makhlof, N. "Could/should improving the urban climate in informal areas of fast-growing cities be an integral part of upgrading processes? Cairo case," Urban Clim. 24, 63–79 (2019). no.
22. Cerezo, C. et al. "Comparison of four building archetype characterization methods in urban building energy modeling (UBEM): A residential case study in Kuwait City," Energy Build. 154, 321–334 (2017).
23. Horta, A. et al. "Energy poverty in Portugal: Combining vulnerability mapping with household interviews," Energy Build. 203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109423>, (2019).
24. Hernandez-Morales, A. "Freezing in paradise: Portugal's energy poverty problem," 10 February 2021. <https://www.politico.eu/article/freezing-in-paradise-portugals-energy-poverty-problem/>. Accessed 22 Oct 2021.
25. Santos, F., Forbes, K. & Moita, R. Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures, Gradiva, 2022.
26. Bimbaum, M. & Mufson, S. "E.U. will unveil a strategy to break free from Russian gas, after decades of dependence," The Washington Post, 23 February 2022. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2022/02/23/russia-ukraine-eu-nordstream-strategy-energy/>. Accessed 9 Mar 2022.
27. Buckley, N., Mills, G., Reinhart, C., Berzolla, Z. M. "Using urban building energy modelling (UBEM) to support the new European Union's Green Deal: Case study of Dublin Ireland," Energy Build. 247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111115>, (2021).
28. Buckley, N., Mills, G., Mee, A. "An Urban Building Energy Model using a building topology: A case study of Dublin, Ireland," in 10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment, New York, 2018.
29. United States Environmental Protection Agency, "Power Profiler," United States Environmental Protection Agency, 21 September 2021. <https://www.epa.gov/egrid/power-profiler/#/>. Accessed 22 Oct 2021.
30. Langevin, J. et al. "US building energy efficiency and flexibility as an electric grid resource," Joule 5, 2012–2128 (2021). no.
31. U.S. Energy Information Administration, "Electricity explained - Electricity generation, capacity, and sales in the United States," U.S. Energy Information Administration, 21 March 2021. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us-generation-capacity-and-sales.php>. Accessed 22 Oct 2021.
32. U.S. Department of Energy, "Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies," in Quadrennial Technology Review - An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities, U.S. Department of Energy, 2015. p. 39.
33. Gerdes, J. "Heat pumps unlock the path to building decarbonisation," Energy Monitor, 29 December 2020. <https://www.energymonitor.ai/tech/electrification/heat-pumps-unlock-the-path-to-building-decarbonisation>. Accessed 22 Jan 2022.
34. Wang, Y., Wang, J. & He, W. Development of efficient, flexible and affordable heat pumps for supporting heat and power decarbonisation in the UK and beyond: Review and perspectives. Renew Sustain Energy Rev. 154, 111747 (2022).
35. Gaur, A. S., Fitwi, D. Z. & Curtis, J. "Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review," Energy Res. Soc. Sci. 71, 101764 (2021).
36. Korn, D., Walczyk, J. & Jackson, A. "Evaluating Cold Climate Heat Pumps: Understanding How and Where Cold Climate Heat Pumps Can Displace Less Efficient Heating Sources," in 2017 International Energy Program Evaluation Conference, Baltimore, MD, 2017.
37. Schoenbauer, B., Kessler, N., Bohac, D., & Kushler, M., "Field Assessment of Cold Climate Air Source Heat Pumps," in ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2016.
38. Langevin, J., Harris, C. & Reyna, J. "Assessing the Potential to Reduce U.S. Building CO₂ Emissions 80% by 2050," Joule 3, 2403–2424 (2019).

39. Climate.OneBuilding.Org, "Climate.OneBuilding.Org-Repository of free climate data for building performance simulation," 12 February 2021. <https://climate.onebuilding.org/>. Accessed 22 Oct 2021.
40. U.S. Department of Energy Building Technologies Office, "Energy Plus - Weather Data by Location," U.S. Department of Energy Building Technologies Office, 2021. https://energyplus.net/weather-location/north_and_central_america_wmo_region_4/USA/AK/USA_AK_Big.Delta-Allen.AAF.702670_TMY. Accessed 22 Oct 2021.
41. DesignBuilder, "ClimateAnalytics:EnergyPlusWeatherFile (EPW) Format," <https://designbuilder.co.uk/cahelp/Content/EnergyPlusWeatherFileFormat.htm>. Accessed 22 Jan 2022.
42. Jentsch, M., Bahaj, A. & James, P. "Climatechange future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files," *Energy Build.* 40, 2148–2168 (2008).
43. USDepartmentofEnergy, "CommercialReferenceBuildings," 2022. <https://www.energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings>. Accessed 31 Jul 2022.
44. TABULA, "TABULA WebTool," 11 June 2017. <https://episcopo.eu/building-typology/country/de/>. Accessed 9 Jan 2021.
45. Monteiro, C.S., Pina, A., Cerezo, C., Reinhart, C. & Ferrao, P. "The Use of Multi-detail Building Archetypes in Urban Energy Modeling," *Energy Procedia* 111, 817–825 (2017).
46. Ang, Y.Q., Berzolla, Z.M., Letellier-Duchesne, S., Jusiega, V. & Reinhart, C. "UBEM.io: A web-based framework to rapidly generate urban building energy models for carbon reduction technology pathways," *Sustain. Cities Soc.* 77, 103534 (2021).
47. Reinhart, C., Dogan, T., Jakubiec, A., Rakha, T. & Sang, A. "Umi-An urban simulation environment for building energy use, daylight and walkability," in *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, 2013.
48. UnitedStatesDepartmentofEnergy, "EnergyPlus," United States Department of Energy, 30 September 2020. <https://energyplus.net/>. Accessed 7 Feb 2021.
49. Reinhart, C. & Cerezo, C. Davila, "Urbanbuildingenergymodeling—a review of a nascent field. *Build. Environ.* 97, 196–202 (2016).
50. Solemma, "ClimateStudio," Solemma, 2021. <https://www.solemma.com/climatestudio>. Accessed 22 Oct 2021.
51. SingaporeMinistryofSustainabilityandtheEnvironment, "Singapore's Climate Action Plan," Singapore Ministry of Sustainability and the Environment, Singapore, 2015.
52. GovernoFederal, "PRESSRELEASEN.157:Brazilsubmitsits Nationally Determined Contribution under the Paris Agreement," Ministério das Relações Exteriores, 09 December 2020. <https://www.gov.br/mre/en/contact-us/press-area/press-releases/brazil-submits-its-nationally-determined-contribution-under-the-paris-agreement>. Accessed 22 Jan 2022.
53. Spring, J. & Paraguassu, L. "Brazil's Bolsonaro, under U.S. pressure, vows climate neutrality by 2050," *Reuters*, 22 April 2021. <https://www.reuters.com/business/environment/bolsonaro-says-brazil-will-reach-climate-neutrality-by-2050-2021-04-22/>. Accessed 22 Jan 2022.
54. SCS Hohmeyer, "Masterplan 100% Klimaschutz," Kiel / Flensburg, 2017.
55. Rincon Consultants, Inc., "Dublin Climate Action Plan 2030 and Beyond," City of Dublin, Dublin, 2020.
56. MiddleburySelectBoard, "Resolution Establishing a Goal for Emissions of Carbon Dioxide associated with Town Operations," Town of Middlebury, Vermont, Middlebury, VT, 2021.
57. U.S. Climate Resilience Toolkit, "Vermont Climate Action Plan," December 2021.. <https://toolkit.climate.gov/reports/vermont-climate-action-plan#:~:text=The%20Vermont%20Climate%20Action%20Plan,clean%20energy%20industry%20and%20jobs..> Accessed 13 Sep 2022.
58. CityofMontreal, "MontrealClimatePlan2020-2030," City of Montreal, Montreal, 2020.
59. U.S.DepartmentofEnergy, "PrototypeBuildingModels," U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2022. <https://www.energycodes.gov/prototype-building-models>. Accessed 9 Jan 2021.
60. UnitedNationsClimateChange, "NationallyDeterminedContributions Registry - Egypt's First Updated Nationally Determined Contributions," 8 June 2022. <https://unfccc.int/NDCREG>. Accessed 13 Sep 2022.
61. ServiçosInformaçõesdoBrasil, "Brazilisanecologicalsuperpower," 18 January 2022. <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazil-is-an-ecological-superpower>. Accessed 13 Sep 2022.
62. EuropeanEnvironmentAgency, "Greenhousegasemissionintensity of electricity generation in Europe," 14 July 2022. <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>. Accessed 13 Sep 2022.
63. TheWhiteHouse, "FACTSHEET:PresidentBidenSignsExecutive Order Catalyzing America's Clean Energy Economy Through Federal Sustainability," The White House, 2021.
64. OfficeoftheMinisterofEnvironmentandClimateChange, "Canada launches consultations on a Clean Electricity Standard to achieve a net-zero emissions grid by 2035," Environment and Climate Change Canada, Quebec, 2022.

Acknowledgements

This work has been supported by Shell (project number 6942292) under the MIT Energy Initiative. Zachary Berzolla and Samuel Letellier-Duchesne were supported by the US National Science Foundation Graduate Research Fellowship (#2141064) and the Postdoctoral Fellowship of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, respectively. We are indebted to all workshop participants for their dedication and enthusiasm, especially our main city contacts/representatives Sabrina Dekker (Dublin), Ricardo Gomez (Braga), Michael Kummert (Montreal), Roberto Lamberts (Florianopolis), Salma Mousallem (Cairo), Shelly Pottorf (Middlebury), Dilys Teoh (Singapore), and Jan Voldersen (Kiel). Ramon Weber helped with the generation of Fig. 4.

Author contributions

Y.Q.A., Z.M.B., S.L.D., and C.F.R. designed the research, organized the workshop, and interfaced with the city representatives. All authors contributed to the modeling, discussion, and interpretation of the results, as well as the writing of the manuscript. C.F.R. provided overall supervision for the research/study.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Correspondence and requests for materials should be addressed to Yu Qian Ang.

Peer review information : Nature Communications thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.nature.com/reprints>

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2023