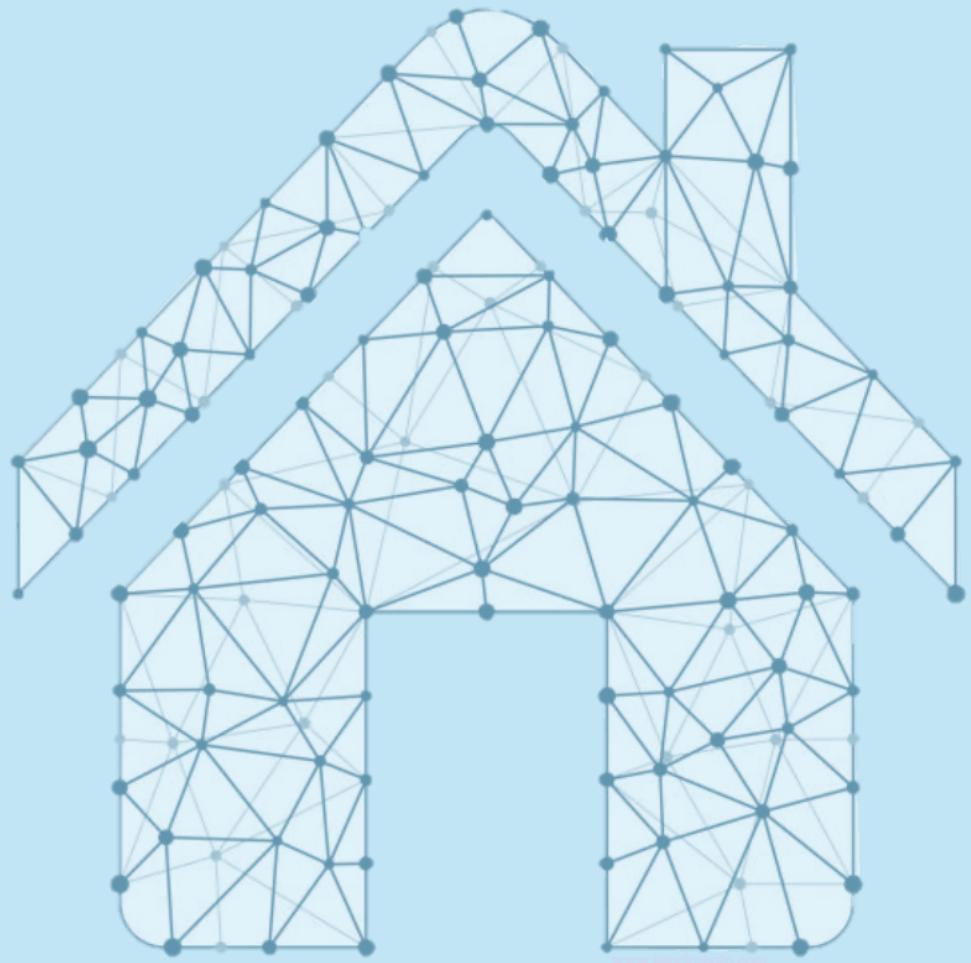


EJENDOMSVURDERINGER

En undersøgelse af et vurderingssystem baseret på neurale netværk



**Titel:**

Ejendomsvurderinger: En undersøgelse af et vurderingssystem baseret på neurale netværk.

Uddannelse:

Samfundsøkonomi, Cand.oecon.
Kandidatspeciale

Gruppenummer:

6

Projektet er udarbejdet af:

Patrick Nicko Printz, 20195998

Vejleder:

Mikael Randrup Byralsen

Sidetal:

117

Anslag inkl. mellemrum:

175.284

Afleveringsdato:

3. juni 2024

Forord

Kandidatspecialet er udarbejdet i perioden 1. februar 2024 til 3. juni 2024. Projektets egne beregninger og illustrationer er udarbejdet ved kodning i Python 3.11.5, hvoraf koden er offentliggjort i projektets online appendiks <https://github.com/PatrickPrintz/Speciale.git>. Af det online appendiks er ligeledes et link til datagrundlaget og en skitserende figur over indsamlingen af data.

Abstract

This project investigates whether it is possible to achieve more accurate property valuations for detached houses, terraced houses and owner-occupied flats by using neural networks. In addition, the project also has a parallel focus on the transparency of a property valuation system based on neural networks.

The old valuation system was suspended in 2013 as a result of criticism by the National Audit Office of Denmark (Rigsrevisionen), which illustrated an insufficiently low accuracy, with only one in four valuations matching the prices properties were traded for. Rigsrevisionen also criticised the transparency of the assessments, which due to subjective elements could not be explained to the individual homeowner. Immediately following the suspension, an external expert committee, the Engberg Committee, was established. The results of the Engberg Committee were a new and more accurate valuation model that mechanically valued Danish owner-occupied homes using a Generalised additive model with neighbourhood prices. Since then, the Ministry of Taxation has been working on developing a new public property valuation system. In the autumn of 2023, almost ten years after, Danish homeowners received the first preliminary assessments for 2022, based on the new assessment system. However, the assessments were received by Danish homeowners with great dissatisfaction with the accuracy and precision of the assessments. It wasn't long before Danish media pointed out the low accuracy of the new assessment system. The accuracy was estimated to be in line with the actual trade prices in only one in three cases, calling into question whether the Ministry of Taxation has done everything it can to maximise the accuracy of the assessment system.

In this project, one neural network is set up for each property type to assess the price per square metre of Danish owner-occupied homes. For this purpose, approximately 700 thousand individual sales of Danish owner-occupied homes sold in the period 2004 to 2023 are collected and used. 44 different characteristics are collected for each detached house and terraced house, while 34 different characteristics are collected for owner-occupied flats within the categories of physical and geographical characteristics and economic variables. A neighbourhood price is also calculated, based on a weighted average of the closest properties sold. The results show an increased accuracy for owner-occupied flats and terraced houses, but not detached houses. Overall, the project's models result in an improved accuracy of 3.9 per cent. The neighbourhood price is found to be particularly important for the project's assessments, and that deviations in this result in deviations in the project's assessments. In connection with this, explanations for this are examined and it is found that the distance to the nearest sold properties and the degree of uniformity affect the accuracy of the models.

The project also demonstrates that economic variables have a great influence on the project's assessments, which is why the omission of these in the new assessment system can be questioned. The project also discusses how the transparency of the individual assessment suffers as a result of the project's applied data basis and method for property assessments. In addition, the project points out that the inclusion of economic factors adds complexity and may compromise transparency. The project also points out that the use of neural networks makes it difficult to explain how each assessment is made, but that there are methods to explain each assessment based on its characteristics. In addition, the biggest challenge for the implementation of neural networks for property valuations is the connection between input and output. The project discusses whether this lack of transparency is too great an obstacle for the implementation of neural networks for public property valuation. For this it is pointed out that although this lack of transparency is a limitation to its use, methods exist to describe the individual assessment, which can be considered sufficient. The project therefore concludes that the use of neural networks can be considered a promising approach to property valuation under certain conditions, but also with clear reservations regarding the trade-off between accuracy and transparency.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Problemformulering.....	2
2.1	Afgrænsning.....	2
2.2	Eget bidrag.....	3
3	Introduktion	4
3.1	Beskætningen af ejerboliger i Danmark	4
3.2	Offentlige ejendomsvurderinger før 2011: Det gamle vurderingssystem.....	5
3.3	Engbergudvalget	8
3.3.1	Forbedret datagrundlag og større fokus på geografiske oplysninger	9
3.3.2	Modelvalg og nærområdepris	10
3.3.3	Afprøvede modeller	11
3.3.4	Anbefalet model: GAM med nærområdepriser.....	12
3.3.5	Det nye vurderingssystems afvigelser fra Engbergudvalget.....	14
3.4	Kritik af det nye vurderingssystem.....	15
3.5	Litteraturens tilgange	17
3.5.1	Danske eksempler	17
3.5.2	Andet litteratur	19
4	Metode og data.....	21
4.1	Metode	22
4.1.1	Artificial Neural Network (ANN).....	23
4.1.1.1	Neuroner	24
4.1.1.2	Aktiveringsfunktioner.....	25
4.1.1.3	Backpropagation	26
4.1.2	Metodologiske overvejelser i forbindelse med den valgte modeltype.....	29
4.1.3	XAI: SHapley Additive exPlanations (SHAP).....	31
4.1.4	Naturlig usikkerhed i vurderinger	32
4.1.5	Evalueringssparametre.....	33
4.1.5.1	Plus-minus 20 pct. (PM20):	33
4.1.5.2	Mean absolute error (MAE):	34
4.2	Data	34
4.2.1	Fremskrivning og geografiske afstande	37
4.2.2	Nærområdepris	37
4.3	Datagennemgang og modelopbygning	39

4.3.1	Datagennemgang.....	39
4.3.1.1	Antal observationer.....	39
4.3.1.2	Kvadratmeterprisen og geografisk variation	40
4.3.2	Procesfremgang i opbyggelse af model	44
5	Analyse og resultater	47
5.1	Evaluering af projektets modeller og sammenligning med Engbergudvalget.....	47
5.1.1	Evaluering af projektets model for rækkehuse.....	48
5.1.2	Evaluering af projektets model for parcelhuse.....	52
5.1.3	Evaluering af projektets model for ejerlejligheder.....	56
5.1.4	Opsummering på sammenligning med Engbergudvalget	61
5.2	Et samlet vurderingssystem	62
5.2.1	Nærområdeprisens betydning for projektets resultater	64
5.2.2	Graden af heterogenitet	67
5.2.3	Tætheden i boligmassen.....	69
5.3	Gennemsigtigheden af den enkelte vurdering	71
5.4	Delkonklusion.....	75
6	Diskussion.....	76
6.1	Projektets resultater og sammenligning med Engbergudvalget.....	76
6.2	Gennemsigtighed ved brug af neurale netværk	80
7	Konklusion	88
8	Litteratur	90
9	Appendiks.....	97
9.1	Engbergudvalget variable i modeller:	97
9.2	Projektets datagrundlag.....	99
9.3	Nærområdepris: Gennemgang af metoder til vægtning.....	103
9.4	Afsprøvning af forskellige vægte til nærområdepris.....	106
9.5	Fordeling af dyreste og billigste ejendomme efter ejendomstype	107
9.6	Korrelationsanalyse mellem kvadratmeterpris og numeriske variable.....	108
9.7	Kommunegrupper	109
9.8	Supplerende SHAP-værdier.....	110
9.9	Illustrativt eksempel på beregning af graden af heterogenitet	112
9.9.1	Heterogenitet og distance til referenceejendomme for de tre ejendomstyper	114
9.10	Engbergudvalget gengivet beregningseksempel.....	115
9.11	Supplerende SHAP	116

1 Indledning

“Spækket med fejl, dumpekarakter, forbløffende lav kvalitet, pilskæve vurderinger og håbløst” er blot nogle af de betegnelser, der anvendes til at beskrive Danmarkshistoriens dyreste it-system, der vurderer danske ejendomme (Ambrosius, 2023; Ingvorsen et al., 2023b; Neupert, 2023). Det nye vurderingssystem skulle give mere præcise vurderinger og rette op på dets forgængers mangler, idet Rigsrevisionen fandt, at omrent tre ud af fire af vurderingerne i 2011 var ude af trit med priserne som ejendommene blev solgt til (Skatteministeriet, 2016). Som følge af Rigsrevisionens kritik af systemets træfsikkerhed blev det gamle vurderingssystem suspenderet i 2013, og et eksternt ekspertudvalg, *Engbergudvalget*, blev nedsat for at komme med anbefalinger og ændringer til at øge træfsikkerheden. Udvalgets resultater inkluderede en ny model, der pointerede, at det var muligt at øge træfsikkerheden af ejendomsvurderingerne. Skatteministeriet og Vurderingsstyrelsen gik efterfølgende i gang med udviklingen af det nye ejendomsvurderingssystem (Skatteministeriet, 2016).

Efter næsten ti års ventetid fik danske boligejere i september 2023 en foreløbig vurdering for 2022, baseret på det nye vurderingssystem (Neupert, 2023). Siden udsendelsen af disse har kritikken af systemets præstationer været overvældende. Vurderinger der åbenlyst er skæve eller vurderinger, der afviger betydeligt for nyligt solgte ejendomme, er blot nogle af de mange historier, der kom kort tid efter vurderingernes udsendelse (Kirkebæk-Johansson, 2023; Neupert, 2023). De mange eksempler på skæve ejendomsvurderinger efterlader samtidig boligejere uforstående over for, hvordan Vurderingsstyrelsen vurderer ejendomme, og hvorfor vurderingerne er så upræcise (Rosengren & Olrik, 2023). Årsagen hertil kan findes ved den begrænsede indsigt, der er i modellen bag vurderingssystemet, der endnu ikke er offentliggjort (Bach-Nielsen, 2023b). I takt med at dette forekommer det ikke overraskende, at to ud af tre ikke har tiltro til, at de nye ejendomsvurderinger er retvisende, mens seks ud af ti samtidig ønsker, at de nye vurderinger trækkes tilbage (Voxmeter, 2023).

Ifølge en analyse af DR er denne manglende tiltro til vurderingernes træfsikkerhed berettiget. DR fandt, at omrent hver tredje foreløbige ejendomsvurdering ramte ved siden den pris, som selv samme ejendom blev solgt til kort tid før eller efter den dato, som vurderingen tilsigter (Ingvorsen et al., 2023a). Vurderingsstyrelsens egne tal viser desuden, at det gamle ejendomsvurderingssystems

træfsikkerhed ikke afviger fra DR's resultater (Rosengren & Olrik, 2023). Det tyder derfor på, at det nye vurderingssystem ikke har højnet træfsikkerheden af det gamle vurderingssystem.

Med afsæt i ovenstående synes det at være en udfordrende opgave at vurdere ejendomme. Det kræver en stor mængde data for hver ejendom og dets karakteristika, hvor sammenhængen mellem ejendomsværdien og karakteristika er ikke-lineær og kompleks. Dette bør advokere for en tilsvarende kompleks model, der er i stand til at opfange denne sammenhæng og vurdere ejendommene præcist (Boye, 2019). Den utilfredsstillende træfsikkerhed stiller således en undren til det nye vurderingssystems udformning, der ikke synes at have bevirket til en betydelig højere træfsikkerhed end dets forgænger. Har Vurderingsstyrelsen valgt den rigtige metode til at få så præcise vurderinger som muligt, eller kan træfsikkerheden øges ved at anvende mere komplekse metoder, og i så fald på hvilken bekostning?

2 Problemformulering

På baggrund af ovennævnte kritik af træfsikkerheden ved det nye ejendomsvurderingssystem undersøges følgende problemformulering i nærværende projekt:

Kan anvendelsen af neurale netværk øge træfsikkerheden af ejendomsvurderinger for parcelhuse, ejerlejligheder og rækkehuse?

Som tillæg til besvarelsen af problemformuleringen forholder nærværende projekt sig ydermere til gennemsigtigheden af ejendomsvurderinger foretaget ved neurale netværk.

2.1 Afgrænsning

I følgende afsnit opridses projektets til- og fravælg i forbindelse med afgrænsning af projektets fokusområde.

En central afgrænsning i projektet er, at Engbergudvalgets udlæg (Skatteministeriet, 2014) antages at være et repræsentativt skildring af det nye vurderingssystems resultater og udformning. Årsagen til denne antagelse er, at der på tidspunktet af nærværende projekts arbejde ikke eksisterer nogen officielle dokumenter, rapporter, kildekoder eller akademiske publikationer, som tilstrækkeligt

definerer strukturen af nye ejendomsvurderingssystems model. De eneste kilder til udformningen af systemet er angivet på Vurderingsstyrelsens hjemmeside¹ eller i Skatteministeriets rapport ”Nye og mere retvisende ejendomsvurderinger” fra 2016. Ingen af disse angiver den præcise struktur af den anvendte model til de foreløbige vurderinger og forholder sig samtidig overfladisk til modellens resultater. Ligeledes fremgår det af Skatteministeriet (2016), at det nye vurderingssystem tager udgangspunkt i Engbergudvalgets udlæg. Projektets resultater er derfor ikke nøjagtig sammenlignelige med det nye vurderingssystems. I enkelte tilfælde præsenteres træfsikkerheden af det nye vurderingssystem, samt hvordan det nye vurderingssystem og Engbergudvalgets udlæg afviger fra hinanden. Der er hertil taget forbehold for, at træfsikkerheden af det nye vurderingssystem ikke er tilstrækkelig dokumenteret til at udgøre et egentlig sammenligningsgrundlag.

Samtidig afgrænses nærværende projekt til at omhandle ejendomsværdier og således ikke grundværdier. Grundværdier udgør en andel af en den samlede ejendomsværdi og har samtidig vist at være særlig udfordrende at vurdere (Skatteministeriet, 2014). Grundværdier vil benævnes i sammenhænge, hvor det vurderes at give mening for forståelsen. Samtidig afgrænses projektet til danske ejerboliger, herunder rækkehuse, parcelhuse og ejerlejligheder, men ikke sommerhuse. Når projektet anvender betegnelsen *ejerboliger*, refereres der således til de tre nævnte ejendomstyper. Endvidere anvender projektet betegnelsen *træfsikkerhed*, der defineres som andelen af ejendomme vurderet inden for ±20 pct. af deres handelspris. Dette vil ligeledes være gjort tydeligt i den resterende del af projektet.

2.2 Eget bidrag

Efter projektets opfattelse er mængden af dansk litteratur, der undersøger alternative løsninger til offentlige ejendomsvurderinger, begrænset. Den eksisterende, danske litteratur på området har tilmed ikke et særskilt fokus på ejendomsvurderinger og anvender ligeledes andre modeltyper end nærværende projekt. I denne sammenhæng skal projektets bidrag ses i lyset af den omtale og kritik, det offentlige ejendomsvurderingssystem har mødt. Endvidere bidrager projektet til belysningen af udfordringer og gevinster ved anvendelsen af komplekse modeller til ejendomsvurderinger.

¹ Vurderingsportalen.dk

3 Introduktion

Følgende afsnit indledes med en gennemgang af grundprincipperne for vurdering af ejerboliger i Danmark. Dernæst introduceres det gamle vurderingssystem og kritikken heraf, med henblik på at præsentere og forstå principperne i det nye vurderingssystem. I forbindelse hermed præsenteres Engbergudvalgets udlæg, hvor det ligeledes pointeres, hvordan udvalgets udlæg til vurderingssystemet adskiller sig fra det nye vurderingssystem. Hertil vil fremføres kritikken af det nye vurderingssystem med henblik på at belyse potentialet ved anvendelse af andre, mere avancerede metoder. Slutteligt præsenteres litteraturens tilgange til vurdering af ejendomme.

3.1 Beskatningen af ejerboliger i Danmark

I Danmark har beskatningen af fast ejendom en lang historik, der strækker sig tilbage til indførelsen af indkomst- og formuebeskatning i 1903. Siden 1916 har danske boligejere betalt skat af hele ejendommens samlede værdi samt grundskyld af grundens værdi. *Grundværdien* er udelukkende værdien af jorden, mens *ejendomsværdien* er værdien af jord og selve boligen (Skatteministeriet, 2014).

Figur 1 - Sammenhæng mellem grund- og ejendomsværdi



Annotering: illustrationen viser forskellen mellem grundværdien og ejendomsværdien

Kilde: Egen tilskrivning på baggrund af Vurderingsstyrelsen (2024).

Beskattningens størrelse afhænger af det offentliges vurdering af både grund- og ejendomsværdien. I alle ulige årstal vurderes omrent 1.700.000 ejerboliger, herunder sommerhuse, ejerlejligheder, parcel- og rækkehus, hvor 500.000 erhvervsejendomme, herunder andelsboliger, landbrugsejendomme, erhvervsejendomme, udlejningsejendomme vurderes i lige årstal (Skatteministeriet, 2014).

Ejerboliger vurderes efter principperne i Ejendomsvurderingsloven, der blev indført i 1956 og senest revideret i 2018 uden store ændringer. Jævnfør Ejendomsvurderingsloven kapitel 4 §§15-16 fremgår det, at vurderingen af en ejendom ansættes efter kontantværdien i fri handel med hensyn til ejendommens pågældende kategori under hensyn til dens karakteristika og uden driftsmateriale og inventar. Det vil sige, at vurderingerne skal fastlægges efter prisen som ejendommen vil kunne sælges til i almindelig frit salg, uden værdien af supplerende inventar. Ligeledes fremgår det af Ejendomsvurderingsloven kapitel 4 §§17-18, at grundværdien er værdien af grunden i ubebygget stand og udnyttet i bedst mulig økonomisk henseende, efter gældende planlovgivningen eller anden offentlig regulering.

Før 2003 var det den enkelte kommunes opgave at ansætte grund- og ejendomsvurderingerne, men efter en kritik af kommunernes håndtering af opgaven overtog Skatteministeriet ansvaret herfor. I perioden 2003 til 2013 vurderede Skatteministeriet danske ejendomme efter et vurderingssystem, der i nærværende projekt betegnes som *det gamle vurderingssystem*. Som følge af kritik fra Rigsrevisionen afskaffes det gamle vurderingssystem i 2013, hvorfor vurderingerne foretaget i 2011 beholdes. Efterfølgende nedsættes et eksternt ekspertudvalg, *Engbergudvalget*, med formålet at undersøge alternative vurderingsmetoder. I forlængelse af Engbergudvalgets konklusioner fra 2014 udvikler Skatteministeriet et nyt vurderingssystem (Skatteministeriet, 2016). På trods af at systemets endnu ikke er fuldt implementeret, modtager danske boligejere i 2023 nye, foreløbige vurderinger af deres ejendomme for 2022, der anvendes som grundlag for ejendomsbeskatning i 2024 (Rosengren & Olrík, 2023). Dette vurderingssystem betegnes som *det nye vurderingssystem*.

Som beskrevet i nærværende projektets afgrænsning (afsnit 2.1) foreligger ingen officiel og veldokumenteret information om den præcise udformning af det nye vurderingssystem. I nærværende projekt antages det derfor, at Engbergudvalgets version af systemet udgør et repræsentativt udslag for det faktiske, nye vurderingssystem. Det gamle og nye vurderingssystem, samt kritikken heraf præsenteres i de følgende afsnit.

3.2 Offentlige ejendomsvurderinger før 2011: Det gamle vurderingssystem

For at forstå behovet og ønsket om et nyt ejendomsvurderingssystem i 2013 gennemgås væsentlige karakteristika og udfordringer ved det gamle vurderingssystem. Overordnet bestod systemet af

statistiske regressionsmodeller, betegnet forslagsmodeller, og vurderingsfaglige skøn. Det gamle vurderingssystem estimerede både grund- og ejendomsværdier, hvilket gennemgås indledningsvist.

Grundværdi

Med afsæt i Ejendomsvurderingsloven vurderede det gamle vurderingssystem en ejendoms grundværdi ud fra forudsætningen om, at grunden var ubebygget og kunne anvendes i bedst økonomisk henseende. Problematikken herved var, at de færreste grunde sælges ubebyggede, og at grunde, der endnu ikke var bebyggede, ofte havde forhold, der forklarede årsagen hertil. For at kunne angive grundværdier til bebyggede grunde, sammenlignede man så lokalt som muligt prisen af ubebyggede og bebyggede grunde. I den forbindelse var Danmark opdelt i omtrent 57.000 *grundværdiområder* for at sikre, at sammenligningen tog udgangspunkt i grunde, der havde samme forhold, herunder eksempelvis lokalplaner. Inddelingen af grundværdiområder blev foretaget på baggrund af en subjektiv vurderingsfaglig inddeling om lokalforhold og geografisk placering (DØRS, 2016).

For hvert grundværdiområde beregnes det relative forhold mellem handelspriser af ubebyggede og bebyggede grunde. Da ejendommene på de bebyggede grunde varierer og nogle grundværdiområder ikke havde solgte ubebyggede grunde, anvendte man hertil en kombination af multiple regressionsmodeller og gennemsnitsberegninger på tværs af grundværdiområder. Den relative forskel mellem ubebyggede og bebyggede grunde blev herefter sammenlignet på tværs af landet og var yderligere utsat for manuel vurderingsfaglig korrektion (DØRS, 2016). Resultatet af fornævnte var en såkaldt *grundværdikurve*, der fastlagde sammenhængen mellem standardejendoms- og standardgrundværdien. Denne kurve kunne på baggrund af ejendomsværdien estimere grundværdien ud fra forudsætningen om, at grunden var bebygget med et standardhus (Skatteministeriet, 2014).

Ejendomsværdien

Efter fastsættelse af grundværdien vurderes den samlede ejendomsværdi. Her anvendtes salgsoplysninger af handlede ejendomme inden for de seneste fire år fra vurderingstidspunktet. I hovedtræk blev ejendomsværdien udregnet ved multiple regressionsmodeller, hvor sammenhængen mellem handelspris og ejendommens karakteristika blev forsøgt forklaret (DØRS, 2016). For hver handlet ejendom indhentes derfor oplysninger om ejendommens karakteristika, der bestod af generelle oplysninger, såsom arealer, opførselsår, ombygninger, opvarmningsmiddel, ydre

karakteristika, dog ikke standsmæssige og geografiske forhold. Den estimerede regressionmodel blev betegnet som en *forslagsmodel*, der kunne appliceres på alle ejendomme til at give en forventelig handelspris (Skatteministeriet, 2014). Årsagen til betegnelsen som forlagsmodeller var, at hver ejendom var subjekt for en sagsbehandlers vurderingsfaglige ekspertise. Her blev modellens estimerede pris korrigert efter sagsbeandleres erfaring og viden om prisudviklingen i området, eller andre supplerende oplysninger, herunder eksempelvis udbudspriser og liggetider (Skatteministeriet, 2014). Ejendomsværdien var derfor et udtryk for en estimeret multipel lineær regression, manuelt korrigert efter vurderingsfaglig bearbejdning, der slutteligt mundede ud i den endelige bygningsvurdering.

Processen i det gamle vurderingssystem kan derfor karakteriseres som et semiautomatisk system, hvor vurderingen delvist tager afsæt i objektive tilgange, men tillige præges af manuelle vurderingsfaglige korrigeringer. Det vurderingsfaglige arbejde, der involverer et vist subjektivt element, gjorde det umuligt nøjagtigt at rekonstruerer den enkeltes vurdering. Det vurderingsfaglige element bidragede ligeledes til, at vurderingerne af to ens ejendomme kunne være vidt forskellige, og at vurderingerne i flere tilfælde var i uoverensstemmelse med reelle handelspriser (Skatteministeriet, 2016).

Rigsrevisionens kritik

Rigsrevisionen (2013) indledte i slutningen af 2012 en undersøgelse af Skatteministeriets forvaltning af ejendomsvurderingerne, hvilket resulterede i, at revisionen i 2013 præsenterede en kritik af flere aspekter ved Skatteministeriets håndtering af ejendomsvurderingerne. Herunder en kritik af det anvendte datagrundlag, det vurderingsfaglige element og især træfsikkerheden af vurderingerne. Rigsrevisionen undersøgte træfsikkerheden af vurderingerne ved at sammenligne vurderingerne med de faktiske handelspriser på parcelhuse solgt i sidste halvdel af 2011. Her konkluderes det, at træfsikkerheden var utilstrækkelig, idet 34 pct. af vurderingerne var mere end 15 pct. under de faktiske handelspriser, mens 41 pct. af vurderingerne var over de faktiske handelspriser (Rigsrevisionen, 2013). Det vil sige, at kun 25 pct. af vurderingerne var i overensstemmelse med de faktiske handelspriser efter dengang gældende vurderingslov.

Der var endvidere kritik af, at modellen anvendes som forslagsmodel, idet dets estimat var yderligere subjekt for vurderingsfaglig korrektion. Den vurderingsfaglige korrigering gjorde det vanskeligt at

forstå og forklare boligejere de inkluderede forhold og deres vægtning i den endelige vurdering. Ligeledes kunne to identiske ejendomme vurderes vidt forskelligt på grund af en vurderingsfaglige korrektion, hvilket betød, at ens ejendomme kunne beskattes forskelligt (Rigsrevisionen, 2013). Således kritiserede rigsrevisionen det gamle vurderingssystems vurderingsfaglige element og særligt dets træfsikkerhed som resultat heraf. I nedenstående tabel 1 opsummeres problematikkerne ved det gamle vurderingssystem:

Tabel 1 - Opsummering for kritik af det gamle vurderingssystem

For lav træfsikkerhed	Vurderingerne stemte kun overens med faktiske handelspriser i hver fjerde tilfælde.
Uensartede vurderinger	Stort set identiske ejendomme vurderes forskelligt, hvilket hovedsageligt var et resultat af det vurderingsfaglige element i den samlede vurdering.
Manglende gennemsigtighed	Grundet det vurderingsfaglige element kunne den enkelte vurdering ikke forklares med afsæt i objektive begründelser.

Annotering: Tabellen opsummerer problematikkerne ved det gamle ejendomsvurderingssystem.

Kilde: Rigsrevisionen (2013) og Skatteministeriet (2014 & 2016)

I umiddelbar forlængelse af Rigsrevisionens (2013) kritik suspenderes vurderingssystemet, og ejendomsvurderingerne fra 2011 har derfor dannet grundlag for boligejernes betaling af skat siden hen. I forbindelse med suspenderingen af vurderingssystemet nedsættes et eksternt ekspertudvalg, Engbergudvalget, med henblik på at undersøge mulighederne for at øge træfsikkerheden og ensartetheden af de offentlige ejendomsvurderinger. Engbergudvalgets fremgangsmåde gennemgås i næstkommende afsnit.

3.3 Engbergudvalget

Engbergudvalget² nedsættes i 2013 og præsenterer sine anbefalinger og forslag til et nyt vurderingssystem i 2014 (Skatteministeriet, 2014). Forslagene til forbedringer og generelle anbefalinger berørte en lang række områder, herunder metoder til grund- og ejendomsvurderinger, en forbedret klageprocedure samt anbefalinger til opbyggelsen af offentlige registre. Med afsæt i den overordnede problemstilling og afgrænsning i nærværende projekt, gennemgås Engbergudvalgets metode til vurdering af ejerboliger, herunder ejerlejligheder, parcel- og rækkehuse i følgende afsnit.

² Navn efter Peter Engberg Jensen, der var formand for ekspertgruppen og tidligere koncernchef i Nykredit (Skatteministeriet, 2014).

Udvalgets overordnede mål var at styrke kvaliteten af vurderingssystemet således, at det blev muligt at anvende maskinelt beregnede vurderinger som beskatningsgrundlag. Systemet skulle desuden tilsigte at være fuldt automatisk, så modellerne ikke længere betragtes som forslagsmodeller, der suppleres med vurderingsfaglige skøn. Ifølge udvalget indebar dette hovedsageligt tre ændringer; (1) et større og bedre objektivt datagrundlag, herunder inddragelsen af geografiske og topologiske data, (2) anvendelse af mere markedskonforme beregningsmodeller og (3) inkludering af nærområdepriser (Skatteministeriet, 2014).

3.3.1 Forbedret datagrundlag og større fokus på geografiske oplysninger

Rigsrevisionen (2013) påpegede, at dele af de salg, som Skatteministeriet anvendte til estimering af forslagsmodellerne ikke kunne karakteriseres som frie salg. Skatteministeriet anvendte salgsoplysninger fra Tinglysningsretten, der står for registreringen af salg af fast ejendom. Den største udfordring ved at anvende oplysninger fra Tinglysningen er registreringen af, hvorvidt handlen er foretaget på markedsvilkår, altså et frit salg, eller andre vilkår, eksempelvis dødsbo, familierelateret handel mm. (Rigsrevisionen, 2013), hvor prisen ikke altid er i overensstemmelse med markedsprisen. Engbergudvalget undersøgte derfor manuelt alle salg foretaget i andet halvår af 2011, hvoraf 22 pct. af de registrerede frie salg ikke kunne karakteriseres som egentlige frie salg. Som følge heraf udviklede Engbergudvalget et 'filter' til at frasortere salgsoplysninger fra Tinglysningen, der ikke er foretaget på markedsvilkår. Filteret indebar en undersøgelse af handlens to parter, herunder parternes beslægtethed, om de har boet på samme adresse eller om en ejendom sælges mellem et firma og hovedaktionären i samme firma (Skatteministeriet, 2014). Engbergudvalget vurderede hertil, at filteret medvirkede til mere retvisende datagrundlag, men at oplysningerne som udgangspunkt bør registreres korrekt

Derudover argumenterede Engbergudvalget for, at det gamle vurderingssystem ikke afdækkede den enkelte ejendoms geografiske placering i tilstrækkeligt omfang. Udvalget undersøgte derfor mulighederne for inkludering af mere geografisk og topologiske data, hvorefter de konstaterede, at kvaliteten af de eksisterende geografiske oplysninger er af høj nok kvalitet til at kunne indgå i vurderingerne som et begrundende element. Engbergudvalget indhentede i den forbindelse geografiske oplysninger fra Geodatastyrelsen om tre forskellige geografiske artstyper, herunder oplysninger om infrastruktur, hav og kyst samt natur. Den korteste afstand mellem disse interesseområder

og den enkelte ejendom er herefter beregnet og inkluderet i udvalgets modeller (Skatteministeriet, 2014). I Engbergudvalgets rapport fremgår det ikke, hvilke inklusions- og eksklusionskriterier de inddragede interesse mål er udvalgt på baggrund af, men det formodes, at tilgængeligheden af visse interesse mål har været en afgørende faktor. Desuden fremgår det ikke, hvilken forventelig indflydelse de forskellige interesse mål har på prisen af ejerboligerne.

3.3.2 Modelvalg og nærområdepris

Engbergudvalget fandt ikke de multiple regressionsanalyser i det gamle vurderingssystem tilstrækkelige, hvorfor udvalget forsøgte at anvende mere markedskonforme modeltyper. Årsagen til Engbergudvalgets vurdering af dette, blev argumenterede i, at modeltilgangen ikke var i overensstemmelse med tilgangene anvendt af de private aktører (Skatteministeriet, 2014). Derfor afprøvede Engbergudvalget fem alternative modelvarianter, der adskiller sig fra det gamle vurderingssystem, idet modeltyperne er mere nuancerede og samtidig inkluderer handelspriser fra nærliggende ejendomme (*Nærområdepriser*). Modeltyperne tilhører gruppen af generaliserede lineære modeller (GLM), hvor udvalget afprøvede den additive (GAM) og den multiplikative (GMM) version. Grundlæggende adskiller GLM sig fra multipel lineære regressioner ved i højere grad at tillade ikke-lineære sammenhænge og have større fleksibilitet. Modellen benytter individuelle fleksible funktioner til hver af de forklarende variable, hvilket tillader de forklarende variable at have en mere nuanceret, ikke-lineær indflydelse på den forudsete variabel. For en dybere matematisk gennemgang refereres til Michael Clark (2022) eller Simon Wood (2017).

Endvidere anvendes en nærområdepris, hvilken beror på en fremskrivning af tidligere salgspriser for de geografisk nærmeste ejendomme, kaldet *referenceejendomme*, til den enkelte ejendom. Nærområdeprisen knyttes til hver ejendom som en variabel på lige fod med øvrige karakteristika, eksempelvis arealet af ejendommen. Inddragelsen af nærområdepris har en betydelig positiv indflydelse på Engbergudvalgets afprøvede modeller. Udvalget argumenterer for, at årsagen hertil kan findes i ejerboligens pris dannelse, der formentlig afhænger af beliggenhed og tidspunktet for salg, hvilket ud fra nærområdeprisen giver den enkelte ejendom et sammenligneligt referencepunkt (Skatteministeriet, 2014).

3.3.3 Afprøvede modeller

Med afsæt i ovenstående justeringer afprøvede Engbergudvalget de fem forskellige modeller ved at anvende salgsoplysninger fra perioden 2006 til og med 2011. Handler foretaget i perioden 2010 til og med 2011 udgør datagrundlaget, som udvalget afprøver og estimerer ud fra. Salgsoplysninger fra perioden 2006 til og med 2009 udgør datagrundlaget, der anvendes som input til nærområdepriserne, der knyttes til hver ejendom solgt i perioden 2010 til 2011. I regressionsmodellerne forsøges kvadratmeterprisen forklaret med afsæt i ejendommens fysiske og geografiske karakteristika samt nærområdeprisen. Resultatet heraf ganges efterfølgende med ejendommens areal og evalueres mod de faktiske handelspriser af ejendommene (Skatteministeriet, 2014). De afprøvede modeller og deres træfsikkerhed fremgår af nedenstående tabel 2.

Tabel 2 - Engbergudvalgets afprøvede modeller

Model	Beskrivelse	Træfsikkerhed		
		Parcelhuse	Rækkehuse	Ejerlejligheder
(1) GAM uden nærområdepriser	En regression af de faktiske BBR-oplysninger om hver enkelt ejendom samt geografiske data. Denne model beregner, hvor meget hver enkelt karakteristika tilføjer af værdi til den enkelte bolig (eksempelvis den ekstra værdi af 1 kvadratmeter boligareal) og er generel for alle ejendomme.	60.5 pct.	73.9 pct.	70.4 pct.
(2) Nærområdepriser alene	En simpel model, der alene beregner værdien af en bolig ud fra produktet af nærområdepriserne kvadratmeterpris og ejendommens areal.	59.6 pct.	77.9 pct.	81.2 pct.
(3) GAM med nærområdepriser (Anbefalet model)	En variant af første model, som indeholder BBR-oplysninger, geografiske data og nærområdepriserne. nærområdepriserne fremskrives til nutidige priser og indgår sammen med BBR- og geografisk data.	67.5 pct.	81.0 pct.	83.4 pct.
(4) GAM med nærområdepriser og historiske priser	En variant af tredje modeltype, der yderligere tilføjer tidlige handelspriser på ejendommen inden for en tidsramme på seks år. Er ejendommen ikke solgt inden for seneste seks år, bruges nærområdepriserne i stedet.	67.8 pct.	80.9 pct.	82.5 pct.
(5) GMM med nærområdepriser	Endnu en variant af tredje model, der i stedet for en additiv regressionmodel benytter en multiplikativ regressionstilgang. Den beregnede gennemsnitspris af nærområdepriserne justeres ved at gange værdier af ejendomsspecifikke karakteristika.	67.3 pct.	80.6 pct.	84.8 pct.

Annotering: Tabellen beskriver Engbergudvalgets afprøvede modeller og træfsikkerheden af disse. Træfsikkerheden angiver andelen af ejendomme vurderet inden for ± 20 pct. af de faktiske handelspriser.

Kilde: Skatteministeriet (2014)

Generelt er modellerne, der udføres ved en kombination af nærområdepriser og regressionmodel, mest træfsikre og præsterer forholdsvis ens for alle boligtyper. Engbergudvalget påpeger hertil at nærområdeprisen alene udviser høj træfsikkerhed, taget dets relative enkelthed i betragtning.

Engbergudvalget henfører derfor dets forbedret træfsikker, relativt til den gamle vurderingssystem, til inkluderingen af nærområdepriser. Afsprøvningen viser, at den tredje model har højest træfsikkerhed for rækkehuse, den fjerde model har højest træfsikkerhed for parcelhuse og at den femte model har højest træfsikkerhed for ejerlejligheder. Engbergudvalget vurderer dog, at inddragelsen af historiske salgspriser af samme ejendom ikke kan retfærdiggøres i et offentligt vurderingssystem, selvom denne forekommer mest træfsikker for parcelhuse. Ifølge udvalget skaber gensalg et uens vurderingsgrundlag, da to identiske ejendomme, hvoraf den ene ejendom er solgt førhen, sandsynligvis vurderes forskelligt. Af retssikkerhedsmæssige årsager vurderer Engbergudvalget derfor, at fjerde model ikke retfærdiggøres (Skatteministeriet, 2014).

Sammenholdt med faktiske handelspriser anbefaler Engbergudvalget den tredje model, GAM med nærområdepriser, der på tværs af de afprøvede variationer har den højeste træfsikkerhed. Denne model gennemgås i næstkommende afsnit, hvor udformningen af modellen introduceres yderligere.

3.3.4 Anbefalet model: GAM med nærområdepriser

Engbergudvalgets anbefalede model analyseres med udgangspunkt i alm. frie ejerboligsalg fra 2010 til og med 2011. I beregningen af nærområdeprisen anvendes tillige alm. frie salg i perioden 2006 til 2009. I modsætning til det gamle vurderingssystem er modellen maskinelt beregnet og indeholder ikke et element af vurderingsfaglig korrektion. Processen fra de enkelte ejendomssalg til de endelige vurderinger forløber i følgende tre trin; (1) fremskrivning af de inkluderede salgspriser til året for vurderingstidspunktet, (2) beregning af nærområdeprisen og (3) udførelse af GAM-regressionsmodellen ved inklusion af karakteristika og nærområdepris.

Ved denne model baseres fremskrivningen af handelspriser på lokale, selvkonstruerede prisindeks, der beregnes efter anvendt datagrundlag. Til fremskrivningen af en ejendom benyttes de 50 nærmeste salgspriser på salgstidspunktet, og de 50 nærmeste salgspriser i fremskrivningsåret, hvorefter der korrigeres for forskellen mellem mediankvadratmeterpriserne på de to tidspunkter (Skatteministeriet, 2014). Dette er modsat en generel fremskrivning af priser over tid, der beror på en korrigering af priserne ud fra en generel udvikling i boligpriserne. Argumentet for udvalgets metode beror i at opnå en så lokal fremskrivning som muligt, således fremskrivningen er tilpasset den enkelte ejendom (Skatteministeriet, 2014).

Nærområdeprisen beregnes på baggrund af de geografisk nærmeste salg til hver enkelt ejendom. Som tidligere nævnt er denne variabel en af hovedårsagerne til, at udvalgets model præsterer bedre end det gamle vurderingssystem. For udvalgets model for parcelhuse benyttes de nærmeste 18 salg, mens de nærmeste 10 salg benyttes for rækkehuse og ejerlejligheder. Blandt de nærmeste ejendomme findes mediankvadratmeterprisen, der efterfølgende ganges med boligarealet for den pågældende ejendom. Foruden denne inkluderes ligeledes nærområdets mediankvadratmeterpris i både lineær og kvadrerede form, samt standardafvigelsen af de udvalgte referenceejendommens kvadratmeterpris. Således indgår i alt fire variable tilknyttet beregningen af nærområdeprisen. Dette gøres med henblik på at opfange eventuelle ikke-lineære sammenhænge med nærområdeprisen samt korrigere for eventuel stor spredning blandt de udvalgte ejendomme (Skatteministeriet, 2014).

Sidste trin i vurderingsprocessen er at estimere og benytte modellerne for parcelhuse, ejerlejligheder og rækkehuse. I modellen opstilles således en GAM hvori den fremskrevne kvadratmeterpris søges forklaret af karakteristika for den pågældende ejendom, samt nærområdepriserne. Modellerne for hver boligtype er ikke identiske grundet forskel i de inkluderede variable. En mere åbenlys variation kan eksempelvis være ejendommens etageplacering, som blot indgår i modellen for ejerlejligheder. Efter projektets overbevisning er der dog flere variable, som kunne indgå på tværs af modellerne, men som er udeladt baseret på signifikansen af udvalgets resultater. Dette gælder eksempelvis boligarealet, der ikke indgår i modellen for ejerlejligheder, eller antallet af værelser, der kun indgår i modellen for ejerlejligheder. I modellen for parcelhuse inkluderes 38 variable, mens der for rækkehuse og ejerlejligheder inkluderes henholdsvis otte og 11 variable (Skatteministeriet, 2014). Af projektets appendiks 9.1 fremgår et overblik over hvilke variable Engbergudvalget anvender i de respektive modeller.

Opsummerende beror Engbergudvalgets metode på en proces med fremskrevne nærområdepriser, der efterfølgende korrigeres for ejendomsspecifikke karakteristika ved en GAM regression. Jævnfør argumenter fremført i projektets afgrænsning antages det nye vurderingssystem i store træk at være baseret på denne metode. Resultaterne fra udvalgets model kan derfor benyttes som genstand for sammenligning med nærværende projekts resultater. Afvigende aspekter ved det nye vurderingssystem i forhold til Engbergudvalgets model gennemgås i næstkommende afsnit.

3.3.5 Det nye vurderingssystems afvigelser fra Engbergudvalget

Som nævnt i projektets afgrænsning er den officielle dokumentation vedrørende det nye vurderingssystem særdeles sparsom og mangelfuld, da flere nøgleaspekter ved sammensætningen af det nye vurderingssystem udelades. På trods af dette samt projektets antagelse om, at Engbergudvalgets model repræsenterer opbygningen og overvejelserne, der ligger til grund for det nye vurderingssystem, kan der alligevel opspores områder, hvori det nye vurderingssystem adskiller sig fra udvalgets.

Der er hovedsageligt to markante ændringer, der adskiller Engbergudvalgets anbefalede model fra det nye vurderingssystem, som begge knytter sig til beregningen af nærområdeprisen. I modsætning til Engbergudvalget beregnes nærområdeprisen ved at vægte gennemsnittet af kvadratmeterprisen for referenceejendommene. Der medtages 15 referenceejendomme for parcel- og rækkehuse, samt 10 referenceejendomme for ejerlejligheder, der alle er solgt i alm. frit salg inden for de seneste seks år fra vurderingstidspunktet. Hver referenceejendom vægtes i en gennemsnitsberegning, hvor vægtene er bestemt efter dets relative afstand til den pågældende ejendom. Vægtningen er lineært sammensat og spænder for parcel- og rækkehuse mellem 12.9 pct. for nærmeste referenceejendom til 0.4 pct. for den fjernehste, hvorfor vægtningen reduceres med 0.9 pct. for hver referenceejendom efter dets relative afstand. For ejerlejligheder er vægtningen mellem 19 pct. for nærmeste referenceejendom og 1 pct. for den fjernehste, og dermed reduceres denne med 2 pct. for hver referenceejendom. Ifølge Vurderingsstyrelsen medfører en større vægtning af nærliggende ejendomme en øget vurderingspræcision, da de nærmeste ejendomme karakteriseres ved flere lignende forhold, der tillige gør sig gældende for den vurderede ejendom (Vurderingsstyrelsen, 2024). Som det fremgår af afsnit 3.3.3 problematiserer Engbergudvalget opstillingen af en model indeholdende tidligere salgspriser af samme ejendom af retssikkerhedsmæssige årsager. Imidlertid fremgår det af Skatteministeriet (2016), at den anvendte model medtager tidligere salg af samme ejendom, såfremt salget er forekommet inden for seks år fra vurderingsåret (Skatteministeriet, 2016). Tidligere salg af samme ejendom optræder i nærområdeprisen på lige fod med andre referenceejendomme og vægtes derfor højest blandt disse.

Trods de omtalte ændringer antages det nye vurderingssystem ligeledes at baseres på en GAM med fremskrevne nærområdepriser vægtet efter afstand, og der inkluderes eventuelle tidligere salg af den pågældende ejendom. Til trods for manglende udførlig dokumentation af det nye vurderingssystems endelige udformning, findes flere udtalelser om systemets træfsikkerhed. Skatteministeriet (2021)

angiver træfsikkerheden for parcel- og rækkehuse, samt ejerlejligheder som henholdsvis 70 pct. og 86 pct.³ for 2020-vurderingerne, hvilket bakkes op af skatteministeren Jeppe Bruus i maj 2023 (Skatteministeriet, 2023b). På et forligskredsmøde i Skatteministeriet i september samme år, lød meldingen dog på 71 pct. for parcel- og rækkehuse, samt 89 pct. for ejerlejligheder for selv samme 2020-vurdering (Skatteministeriet, 2023a). Hvilken ud melding, der er den rigtige, vides ikke, eftersom der mangler klar dokumentation om systemet, men vidner om hvor lidt udførlig dokumentation om systemet, der i virkeligheden er tilgængelig. Noget der ligeledes er blevet kritiseret af flere fagpersoner i forbindelse med dets udrulning af de foreløbige vurderinger i slutningen af 2023. I forbindelse hermed har vurderingerne mødt stor og flersidet kritik, der i et stort omfang omhandler systemets træfsikkerhed og gennemsigtighed. Kritikken som systemet har mødt, er introduceret i næstkomende afsnit.

3.4 Kritik af det nye vurderingssystem

Allerede inden afsendelse af de første ejendomsvurderinger, foretaget ved brug af det nye vurderingssystem, faldt en kritik på systemets umiddelbare træfsikkerhed. I 2020 kritiserer tidligere skatteordfører for Dansk Folkeparti Dennis Flydkjær systemets træfsikkerhed på for parcelhuse, idet han finder ændringen af træfsikkerheden fra 64 pct. ved det gamle vurderingssystem til 71 pct. utilfredsstillende, grundet de store økonomiske omkostninger i forbindelse med systemets udvikling (Horn, 2020; Ingvorsen et al., 2023b). Kort efter indførelsen af det nye vurderingssystem udfordres udlægget om systemets træfsikkerhed tillige af Danmarks Radio (DR), der undersøger ejendomme solgt seks måneder før og efter dato, som vurderingerne tilsigtes (1. januar 2022). DR undersøger i alt 82.603 ejendomme på tværs af de tre boligtyper, hvoraf 35,1 pct. afviger med mere end 20 pct. fra sidste salgspris (Ingvorsen et al., 2023a). Undersøgelsen illustrerer en træfsikkerhed på 64,9 pct. indenfor ± 20 pct. af de faktiske handelspriser, hvilket svarer til en 15,1 pct. lavere træfsikkerhed sammenlignet med gennemsnittet af træfsikkerheden i Skatteministeriets (2023a) egen ud melding. Derfor synes træfsikkerheden i det nye vurderingssystem ikke at være lige så høj som påstået af ministeriet. På baggrund af undersøgelsen foretaget af DR, afviger træfsikkerheden i det nye vurderingssystems ikke signifikant i forhold til den fremlagte træfsikkerhed i Engbergudvalgets forslag til et vurderingssystem i 2014 (Ingvorsen et al., 2023a). Disse resultater understreger tillige

³ Træfsikkerheden for parcel- og rækkehuse er baseret på et vægtet gennemsnit af træfsikkerheden på for begge ejendomstyper.

opfattelsen af, at udvalgets system og det nye vurderingssystem ikke adskiller sig markant fra hinanden.

Ekstra bladet (Mathiessen & Jeppesen, 2023) foretager en lignende undersøgelse af vurderingernes træfsikkerhed, men anvender, i modsætning til DR (Ingvorsen et al., 2023a), træfsikkerhedsmålene opstillet i Rigsrevisionens (2013)⁴. Ved undersøgelse af 38.000 ejendomme solgt tre måneder før eller efter 1. januar 2022 findes, at 69 pct. af vurderingerne ikke stemmer overens med Rigsrevisionens (2013) mål for træfsikkerhed. Heraf vil 22 pct. være vurderet mere end 15 pct. under den faktiske handelspris, mens 47 pct. er overvurderet (Mathiessen & Jeppesen, 2023). Det vil sige, at træfsikkerheden af det nye vurderingssystem blot er 31 pct., efter træfsikkerhedsmålene defineret af Rigsrevisionen. Sammenlignes dette træfsikkerhed af det gamle vurderingssystem (Rigsrevisionen, 2013), svare dette til en forbedret træfsikkerhed på 6 pct.

Da boligejere modtager deres foreløbige ejendomsvurderinger i 2023, oplever flere en markant stigning heri, og at selve vurderingen heraf er uforstående (Kirkebæk-Johansson, 2023). Vurderingerne ledsages ikke af begrundelser, hvorfor skiftende udmeldinger om systemets træfsikkerhed og manglende mulighed for klageadgang bidrager til en manglende tiltro til vurderingerne (Bentzen, 2023; Høegh, 2024). Der rettes derfor kritik mod gennemsigtigheden af det nye vurderingssystem, der betragtes som en væsentlig forudsætning for, at boligejerne betaler boligskat (Bentzen, 2023). Forskningsleder og professor i statskundskab, Michael Petersen, mener hertil, at en akademisk rapport om vurderingssystemets udformning og virke vil øge gennemsigtigheden heraf (Bach-Nielsen, 2023b). På nuværende tidspunkt er det blot muligt at undersøge og kritisere systemets resultater, men ikke måden hvorpå systemet reelt virker. Professor i digital forvaltning, Hanne-Marie Motzfeldt, påpeger desuden påtalen, som finansministeriet fik af ombudsmanden i forbindelse med en avisning af aktindsigt i den makroøkonomiske metode *Annual Danish Aggregate Model (ADAM)*, da en åbenhed om beregninger med økonomiske konsekvenser ikke respekteres (Bach-Nielsen, 2023a). En større mængde af den anvendte data til vurderingssystemet er offentlig tilgængelig, hvorfor kritikken altså omhandler manglende mulighed for indsigt i anvendelsen af dette data, eller baggrunden for den enkelte vurdering.

⁴ Jævnfør afsnit 3.2 definerer Rigsrevisionen (2013) træfsikkerhed som andelen af ejendomme vurderet maksimalt 15 pct. lavere end den faktisk handelspris.

Med afsæt i ovennævnte kritik af træfsikkerheden undersøger nærværende projekt, om træfsikkerheden i vurderingssystemet kan forbedres ved brug af neurale netværk. Med henblik på at afdække forslag til alternative metoder gennemgås eksisterende litteratur i næstkomende afsnit.

3.5 Litteraturens tilgange

I forlængelse af kritikken af det nye vurderingssystem findes det relevant at undersøge, hvordan litteraturen forholder sig til prisfastsættelsen af ejerboliger i Danmark og udlandet, samt hvilke metoder, der oftest anvendes i denne forbindelse. Litteraturgennemgangen indeholder et begrænset antal danske eksempler, da litteraturen herom er begrænset, mens danske banker og realkreditinstitutter tillige synes at hemmeligholde modeller og fremgangsmåder i deres respektive ejendomsvurderingssystemer. Derudover agerer størstedelen af dansk litteratur indenfor området på et makroøkonomisk plan, der ikke undersøger prisfastsættelsen eller vurderingen af enkelte ejerboliger i landet.

3.5.1 Danske eksempler

Jonas Hansen, Andreas Iversen og Peter Stephensen (2018) undersøger, på vegne af DREAM og Boligøkonomisk Videnscenter, hvorvidt boligejere oplever en økonomisk gevinst eller et tab ved at bo i ejerbolig fremfor lejebolig i perioden 1999 til 2015. I undersøgelsen skønnes prisudviklingen af ejerboliger i Danmark ved en geografisk vægtet regression (GWR), der vurderer hver boligs værdi ud fra prisen af solgte ejerboliger i området. GWR karakteriseres som en spatial metode, der estimerer én lineær regression for hver enkel bolig, hvor værdien estimeres på et datagrundlag bestående af de nærmeste solgte ejendomme. Dermed estimeres en lokal sammenhæng mellem handelsprisen og boligens karakteristika i området for den enkelte ejendoms placering, i modsætning til en global regression, der estimerer marginale koefficienter for hele landet (Hansen et al., 2018). I datagrundlaget anvendes en række forskellige interesse mål og fysiske karakteristika for den enkelte ejendom, men også beboerkarakteristika. Beboerkarakteristika indebærer sælgers indkomst samt antallet af år, som sælger har ejet boligen op til handelstidspunktet. Argumentet for inkluderingen heraf er antagelsen om, at disse kan afspejle boligens standsmæssige egenskaber. Der angives ingen samlet træfsikkerhedsmål, men de finder træfsikkerheden højest i København, hvor omtrent 86 pct. af ejendommene estimeres indenfor ± 20 pct. af den realiserede handelspris, og lavest på Bornholm, hvor træfsikkerheden er omtrent 54 pct. Generelt opnås højere træfsikkerhed i større byer, mens træfsikkerheden falder i forbindelse med bevægelse væk fra disse (Hansen et al., 2018).

I en senere tilsvarende analyse foretaget af Hansen og Iversen (2023) på vegne af DREAM og Boligøkonomisk Videnscenter, estimeres den geografiske variation i prisudviklingen af ejerboliger i Danmark i perioden 1992 til 2021. I modsætning til førstnævnte analyse baseres denne undersøgelse på en kombination af GWR og maskinlærings algoritmen LightGBM. LightGBM er en modeltype, der baseres på mange beslutningstræer ved *boosting* og som trækker enkelte paralleller til neurale netværk (Hansen & Iversen, 2023). Det anvendte datagrundlag består overvejende af samme variable, mens tidshorisonten er udvidet til perioden 1992 til 2021, hvorfor der indgår omtrent 1.4 mio. solgte ejendomme i grundlaget. Kombinationen af GWR og LightGBM øger træfsikkerheden med 2.7 pct. sammenlignet med fornævnte GWR. Træfsikkerheden for parcel- og rækkehuse samt ejerlejligheder er henholdsvis 72.4 pct. og 87.6 pct., hvilket medfører en samlet træfsikkerhed på 76.1 pct. for alle ejerboliger. Tilsvarende førstnævnte analyse er træfsikkerheden størst omkring storbyer og mindst i udkantsområder (Hansen & Iversen, 2023).

Ifølge Videncentret Bolius udvikler og anvender danske banker og realkreditinstitutter modellen Geomatic (Gregersen, 2022), der derfor udgør endnu et eksempel. Geomatic er et såkaldt *Automatic Valuation Model* (AVM), der kombineres af flere selvstændige modeller, der endeligt samles til én enkeltstående vurdering (Perry, 2023). Geomatic består af i alt fire modeller; (1) en lineær regression af sammenhængen mellem pris og karakteristika, (2) en model for sammenhængen mellem pris og tidlige handler og prisudvikling i nærområdet, (3) en model for handler i nærområdet og (4) en model, hvor udbudte ejendomme estimeres på baggrund af forventet afslag i udbudsprisen. Disse fire modeller vægtes og udgør tilsammen en endelig vurdering af den enkelte ejendom. I estimeringen indgår 1.5 mio. ejendomme og over 200 variable⁵. Træfsikkerheden af dette system, målt som andelen indenfor 20 pct. af den realiserede handelspris, er 70.3 pct. for parcelhuse, 82.0 for ejerlejligheder og 72.1 for rækkehuse i perioden juli 2012 til juni 2013 (Glarvig, 2015).

Virksomheden E-nettet, der ejes af danske banker og realkreditinstitutter, har udviklet en model kaldet *E-værdi*, der estimerer salgspriser på ejerboliger til brug i finanssektoren (Petersen, 2018). Modellen baseres på neurale netværk og erstatter de forhenværende lineære regressioner, som E-nettet anvendte førhen. Den præcise udformning af E-nettets neurale netværk tilkendegives ikke, men det påpeges, at modellen er trænet på 80.000 ejendomssalg, inkluderer afstande til forskellige interesseområder og

⁵ Hvilke variable, der præcis indgår, tilkendegives ikke i Glarvig (2015).

støjkort samt indebærer i alt 4.5 mio. statistiske parametre (Boye, 2019). Modellen inkluderer ligeledes fysiske karakteristika og priser fra lokalområdet i vurderingen af den enkelte ejendomsværdi (Knudsen & Hansen, 2017). Ved brug af neurale netværk findes det, at modellen er mellem 10 og 35 pct. mere træfsikker end den forhenværende lineære model (Petersen, 2018) og estimerer omtrent 80 pct. af alle ejendomme indenfor ± 20 pct. af de realiserede handelspriser (Hansen, 2020). Tillige er træfsikkerheden størst i og omkring storbyerne, hvor omtrent 90 pct. af vurderingerne er indenfor ± 20 pct. af handelspriserne (Knudsen & Hansen, 2017).

Til trods for den begrænsede litteratur på området, synes brugen af mere komplekse metoder, såsom maskinlæring, samt neurale netværk fremfor traditionel lineær regression eller GWR, at medføre en øget træfsikkerhed i vurderingen af danske ejerboliger. Datagrundlaget i E-nettet, DREAM og Boligøkonomisk videnscenter er i stort omfang sammenligneligt med Engbergudvalgets, hvilket tyder på, at selvsamme grundlag, i kombination med maskinlæring eller neurale netværk, kan medvirke til en øget træfsikkerhed.

3.5.2 Andet litteratur

Denne gennemgang tager udgangspunkt i udenlandsk litteratur, der sammenligner hedoniske prismodeller (HPM), Generalized additive models (GAM), geografisk vægtet regressioner (GWR), maskinlæringsmodeller eller Artificial neurale netværk (ANN), der tillige anvendes i den ovenstående danske litteratur.

McCluskey et al. (2013) sammenligner træfsikkerheden mellem GWR, HPM og ANN på et datasæt bestående af 2.694 ejendomme solgt i perioden 2002 til 2004 i Nordirland. Der inkluderes 11 variable, som udelukkende beskriver ejendommens fysiske karakteristika. Resultaterne illustrerer, at ANN har en gennemsnitlig procentvis afvigelse (MAPE) på 11.97 pct., hvilket er lavere end HPM ved 12.27 pct., men højere end GWR ved 10.40 pct. McCluskey et al. (2013) sammenligner ligeledes modellernes gennemsigtighed og vurderer, at GWR er bedst på både gennemsigtighed, forklaringsevne og træfsikkerhed.

Samme resultater er ikke at finde i Marcelo Cajias og Sebastian Ertl (2018), der sammenligner HPM, GWR og GAM for ejendomme i Tyskland. Her undersøges 570.000 ejendomme, hvor det findes, at GWR har en betydelig lavere forklaringsgrad sammenlignet med GAM og HPM. Cajias og Ertl

(2018) pointerer samtidig, at forskellen i træfsikkerheden mellem GAM og HPM er lav, hvor GAM kun er marginalt bedre end HPM. Ifølge Thomas Root, Troy Strader og John Huang (2023) skyldtes forskellen mellem de to studiers fund antallet af datapunkter, der medfører ekstra variation, hvorfor GAM og HPM har bedre generaliseringsevne.

En marginal forskel mellem HPM og GAM findes desuden i Stang et al. (2023), der sammenligner HPM, GAM og maskinlæringsalgoritmen XGBoost på et datasæt bestående af omtrent 1.2 mio. ejendomme i Tyskland solgt i perioden 2014 til 2020. XGBoost er en meget sammenlignelig algoritme til LightGBM, der er anvendt i Hansen og Iversen (2023), hvor XGBoost ligeledes bygger på beslutningstræer og boosting. Ejendommene er opdelt i 327 administrative områder med henblik på at fange den geografiske variation, mens der ligeledes inkluderes 37 fysiske karakteristika, 25 afstandsmål og 11 makroforhold, herunder eksempelvis arbejdsløshed og købekraft. Forfatterne finder en marginal forbedring mellem HPM og GAM, hvor HPM vurderer 69.4 pct. indenfor ± 20 pct. af handelsprisen, mens de tilsvarende mål for GAM og XGBoost er henholdsvis 72.8 pct. og 77.9 pct. på landsplan. Forfatterne finder, at HPM og GAM er bedre til at vurdere ejendomme i områder med færre observationer. Alligevel er XGBoost mest træfsikker på landsplan og i områder med mange ejendomme, hvilket forfatterne tilskriver maskinlæringsmetodens evne til at opfange interaktionseffekter og ikke-lineære effekter i højdimensionale datasæt. I områder med mange ejendomme påpeger forfatterne, at sammenhæng mellem variable og prisen er mere kompleks, hvilket taler for en mere kompleks modeltype som XGBoost (Stang et al., 2023).

Cihan Çılgin og Hadi Gökçen (2023) sammenligner XGBoost og ANN for ejendomme solgt i 25 distrikter i Tyrkiet i månederne juni og juli i 2021 og inkluderer i alt 70.360 ejendomme. For hver ejendom inkluderes 86 karakteristika af både geografisk og fysisk karakter. Çılgin og Gökçen (2023) finder, at ANN og XGBoost har ens evne til at vurdere ejendomme, hvor XGBoost kun marginalt overgår ANN i træfsikkerhed baseret på MAPE. Ud fra MAPE er træfsikkerheden ved XGBoost 1.98 pct., mens træfsikkerheden for ANN er 1.99 pct. Det konkluderes derfor, at modellernes evne til at vurdere ejendomme er tilsvarende hinanden (Çılgin & Gökçen, 2023).

ANN anvendes typisk i undersøgelser af ejendomspriser og sammenlignes oftest med traditionelle HPM-modeller. Steven Peterson og Albert Flanagan (2009) sammenligner ANN og HPM på 46.467 ejendomme solgt i perioden 1999 til 2005 i North Carolina, hvori 18 fysiske karakteristika indgår.

Her konkluderes ANN at være mest træfsikker, hvilket forfatterne tilskriver ANN-modellers evne til at opfange ikke-lineære forhold mellem karakteristika og pris, og at HPM-modeller oftest er upraktiske grundet den funktionelle forms ukendthed (Peterson & Flanagan, 2009). Ældre studier finder ligeledes ANN-modeller mere træfsikre end traditionelle regressionsbaserede metoder (Do & Grudnitski, 1992; Tay & Ho, 1992)

Nghiep Nguyen og Al Cripps (2001) sammenligner ANN med HPM og argumenterer for, at ANN præsterer bedre end HPM ved et stort datasæt. Forfatterne tilskriver dette ANN-modellers evne til at overkomme problemer med korrekt specifikation af den funktionelle form. Samtidig påpeges det, at ANN-modellernes træfsikkerhed stiger i takt med datasættets størrelse, mens HPM er relativt upåvirket heraf. Denne pointe understreges tillige i Peterson og Flanagans (2009), hvis resultater påpeger samme evne ved større datasæt. Nyere studier (Selim, 2009; Štubňová et al., 2020) finder ligeledes ANN-modeller bedre end traditionelle HPM-metoder, hvor både størrelsen af datasættet og evnen til at opfange ikke-lineære sammenhænge påpeges som medvirkende til en højere træfsikkerhed.

Baseret på ovenstående litteraturgennemgang synes træfsikkerheden at være størst ved anvendelse af maskinlærings- og ANN-modeller til vurdering og prisfastsættelse af ejendomme. Flere af studierne fremhæver modellernes evne til at opfange ikke-lineære- og interaktionseffekter, samt evnen til at være mere præcis, når der anvendes et større datagrundlag. I en dansk kontekst observeres, at maskinlæring medfører højere træfsikkerhed, og at den højest rapporterede træfsikkerhed findes ved E-nettet, der anvender ANN-modeller. Med afsæt heri synes mere komplekse metoder at medføre højere træfsikkerhed, og at et offentligvurderingssystem kan forbedre dets vurderinger ved anvendelse af disse. Med udgangspunkt disse pointer præsenteres projektets metode og datagrundlag i det kommende afsnit.

4 Metode og data

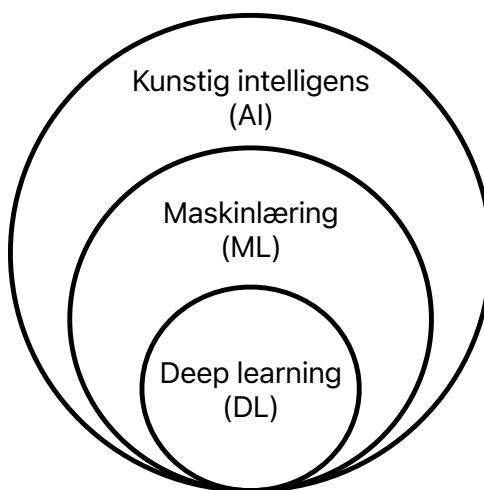
I afsnittet præsenteres projektets metode og datagrundlag med henblik på at skabe en forståelse for ANN og konstrueringen af projektets datagrundlag. I forbindelse hermed påpeges vigtige overvejelser omkring den valgte metode og udarbejdelsen af projektets data, der gør sig gældende i den resterende

del af projektet. Afslutningsvist præsenteres centrale dele af det konstruerede datagrundlag og den endelige udformning af projektets modeller.

4.1 Metode

ANN tilhører kategorien *deep learning*, som er et felt af maskinlæringsmetoder, der tilmed går under betegnelsen kunstig intelligens (AI). Selvom disse udtryk i flere sammenhænge forveksles, dækker de samlet over konceptet om at bringe 'intelligens' ind i systemer (Moolayil, 2019).

Figur 2 - Diagram over sammenhæng mellem AI, ML og DL



Annotering: Illustrationen viser et Venn-diagram over sammenhængen mellem AI, ML og DL.

Kilde: Egen tilskrivning på baggrund af Moolayil (2019).

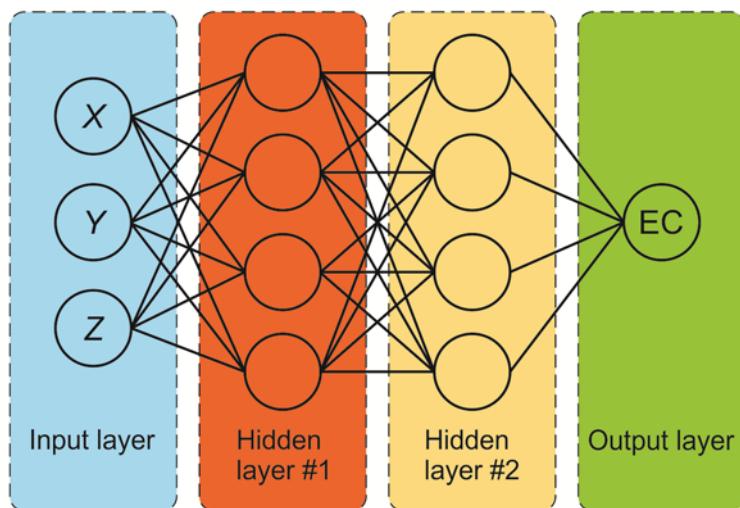
Maskinlæring dækker i denne forstand over algoritmer, der 'lærer' sammenhænge og mønstre i data, til at udføre bestemte opgaver uden at være eksplisit programmeret. Deep learning og neurale netværk er hertil en bestemt kategori af maskinlæring, der kan beskrives som en sofistikeret og matematisk kompleks udvikling inden for maskinlæring (Wolfewicz, 2023). Neurale netværk er inspireret af den menneskelige hjernes biologiske processer, der består af milliarder af forbundne neuroner, der er i stand til at lære sammenhænge, udvinde information og træffe beslutninger. For at opnå dette anvender neurale netværk en struktur, der er opbygget i lag og består af neuroner, der er internt forbundne og former et netværk (Moolayil, 2019). I næste afsnit præsenteres denne struktur, og hvordan neurale netværk lærer.

4.1.1 Artificial Neural Network (ANN)

ANN dækker grundlæggende over modeltyper, der opbygges i lag, og hvor hvert lag består af neuroner, der tilsammen former et netværk af forbindelser. Den mest almene variant, der tillige anvendes i nærværende projekt, kaldes *Multi-Layer Perceptron* (MLP) (Singh, 2024). MLP betegner et ANN, hvor hvert neuron i hvert lag er forbundet til hvert neuron i det efterfølgende lag af netværket. I den resterende andel af projektet betegnes MLP som ANN.

ANN består af i alt tre typer af lag; ét input-, ét (eller flere) skjulte- samt ét output-lag, hvor information løber gennem lagene via indbyrdes forbindelser. I nedenstående figur 3 illustreres den generelle struktur af et ANN.

Figur 3 - Illustration af et simpel neutrals netværks opbygning



Billedet viser et standard ANN med tre variable, fire neuroner i de to skjulte lag og ét neuron i sidste lag.
Kilde: (Noureddine et al., 2020)

Input-laget består af et antal neuroner svarende til antallet af variable i modellen. Dette lag har udelukkende til opgave at modtage variablene og videregive dem til det efterfølgende skjulte lag. Antallet af neuroner i output-laget afhænger af problemstillingen, da der kan være ét eller flere neuroner. I regressions-modeller, hvor der ønskes én numerisk værdi, vil antallet af neuroner være én. Mellem input- og output-lagene er de skjulte lag, der er kernelementet af et ANN og som har stor fleksibilitet i takt med, at antallet af både lag og neuroner kan justeres (Sivakumar, 2023). Hovedformålet med de skjulte lag er at udvinde abstrakte repræsentationer af de modtagne inputs, og at transformere disse til udformningen af komplekse sammenhænge. I de skjulte lag udvindes interaktioner og ikke-lineære sammenhænge mellem variablene, hvilket gør ANN i stand til at

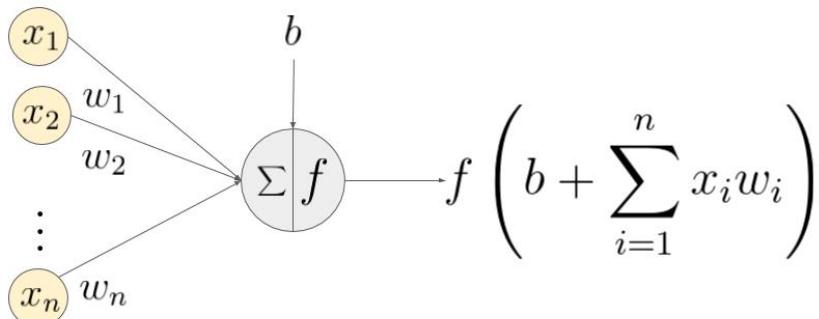
opfange nuancer og komplekse sammenhænge. Uden de skjulte lag vil netværket blot være en lineær transformering af dataet på lige fod med en lineær regression (Sivakumar, 2023).

Ved at øge antallet af skjulte lag og neuroner i netværket, bliver det i højere grad i stand til at lære mere komplekse og abstrakte sammenhænge i dataet. Et øget antal neuroner og skjulte lag vil dog også medføre en øget tendens til *overfitting*, der refererer til et fænomen, hvor modellen bliver overtildpasset til dataet. Dette skyldes, at modellen lærer at genkende mønstre og støj i træningsdataene, men ikke generaliserer godt til andet data. For at modvirke overfitting anvender projektet regulerings teknikker som *dropout* (Moolayil, 2019). Dropout fungerer ved at deaktivere (at sætte lig nul) en tilfældig andel af neuronerne i et lag under træningen, hvilket forhindrer netværket i at blive for afhængig af enkelte neuroner og dermed forbedres modellens evne til at generalisere. Dropout medfører derfor en mere robust repræsentation, når antallet af lag og neuroner øges (Moolayil, 2019). Antallet af såvel neuroner, skjulte lag og andelen af deaktiverede neuroner er såkaldte *hyperparametre*, der er angivet på forhånd og som kan optimeres efterfølgende.

4.1.1.1 Neuroner

I de skjulte lag og output-laget vil hvert neuron have tilhørende vægte fra de modtagne inputs og ligeledes tilføje et bias før de transformeres ved hjælp af en *aktiveringsfunktion*. Neuroner i de skjulte lag er årsagen til, at ANN-modeller karakteriseres som komplekse og uigennemskuelige, da det ikke er muligt at kortlægge den præcise sammenhæng mellem in- og outputs, når antallet af neuroner er stort (Sivakumar, 2023). I nedenstående figur 4 fremgår en grafisk illustration ét neuron:

Figur 4 - Illustration af ét neuron i et neutralt netværk



Billedet viser et neuron (grå), som modtager inputs x_n med tilhørende vægte w_n , der summeres og tilføjes bias b , før slutteligt at transformere via aktiveringsfunktionen f

Kilde: (Babs, 2018)

Neuronet modtager inputs x_n med tilhørende vægte w_n fra det foregående lag, som afspejler vigtigheden af inputtet fra et neuron til et andet i det foregående lag. Herefter beregnes den vægtede sum af inputs, hvorefter der tilføjes et bias b . Den vægtede sum af inputs og bias passerer dernæst gennem en aktiveringsfunktion f , der medfører ikke-lineære forhold og bevirket, at modellen i højere grad end en lineær-funktion kan tilpasses dataets kompleksitet og opfange sammenhængen mellem in- og outputs (Sivakumar, 2023; Moolavil, 2019). Samlet vil et neuron derfor bestå af (1) en vægtede sum af inputs tilføjet bias, (2) der transformeres ved brug af en aktiveringsfunktion.

4.1.1.2 Aktiveringsfunktioner

Aktiveringsfunktionen udgør et væsentligt element i netværkets evne til at opfange kompleksiteten i dataet ved at medføre ikke-lineære forhold. Uden aktiveringsfunktionerne vil netværket blot udføre lineære transformeringer af input-dataet for hvert neuron ved $b + \sum_{i=1}^n x_i w_i$, hvilket medfører, at outputtet ligeledes vil være lineært konstrueret (Sivakumar, 2023).

Den mest anvendte ikke-lineære aktiveringsfunktion for ANN er *The Rectified Linear Unit* (ReLU), der tillige anvendes i nærværende projekt og beregnes ved formlen:

$$f(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 0 \\ z, & z > 0 \end{cases}$$

Hvor z er inputtet til hvert neuron, og outputtet ligeledes er z , såfremt z er positiv, og 0 hvis ikke. Denne aktiveringsfunktion er derfor simpel at implementere, da den blot udføres for et vis antal

neuroner, hvilket samtidig gør selve træningen af netværket hurtigere (Moolayil, 2019; Sivakumar, 2023). Når ANN-modeller benyttes til at udføre regressionsestimeringer, anvendes ingen aktiveringsfunktioner i netværkets output-lag. Det vil sige, at det ene neuron i output-laget blot består af den vægtede sum af inputs tilført bias fra det foregående lag (Moolayil, 2019).

4.1.1.3 Backpropagation

Når der i relation til ANN refereres til modellens træning, eller at modellen lærer, henvises der i virkeligheden til den iterative proces af justeringer i vægtene og biases ved hvert neuron i netværket. Denne proces kaldes *backpropagation* og indebærer, at modellens parametre (vægte og biases) opdateres for at minimere afvigelser mellem de vurderet og faktiske værdier (Moolayil, 2019).

Backpropagation involverer to processer; *forward-* (*FP*) og *backward-pass* (*BP*). *FP* er processen, der fører observationer i træningssættet igennem netværkets lag for at skabe et output. Til dette er de indledende parametre tilfældige (Wisam, 2021). Resultatet af *FP* er derfor en række estimerede værdier, der sandsynligvis ikke er tæt på de faktiske værdier.

BP er den efterfølgende proces, hvis formål er at optimere netværkets parametre for at minimere afvigelserne mellem netværkets output og de faktiske værdier. *BP* evaluerer derfor outputværdier i forhold til de faktiske ved en passende tabsfunktion (Gudimalla, 2021). Nærværende projektet anvender gennemsnitlige kvadrerede afvigelser (MSE) som tabsfunktion. Formålet er herefter at minimere MSE med hensyn til netværkets parametre, hvorfor en *gradient descent* anvendes. Gradient descent er en optimeringsalgoritme, der justerer netværkets parametre i små trin i retningen, der mindsker tabsfunktionen mest effektivt (Gudimalla, 2021). Den partielle afledte af tabsfunktionen (C) med hensyn til netværkets parametre (θ) betegnes som *gradienten* ($\nabla J(\theta)$) og beregnes ved:

$$\nabla J(\theta) = \frac{\partial C}{\partial \theta}$$

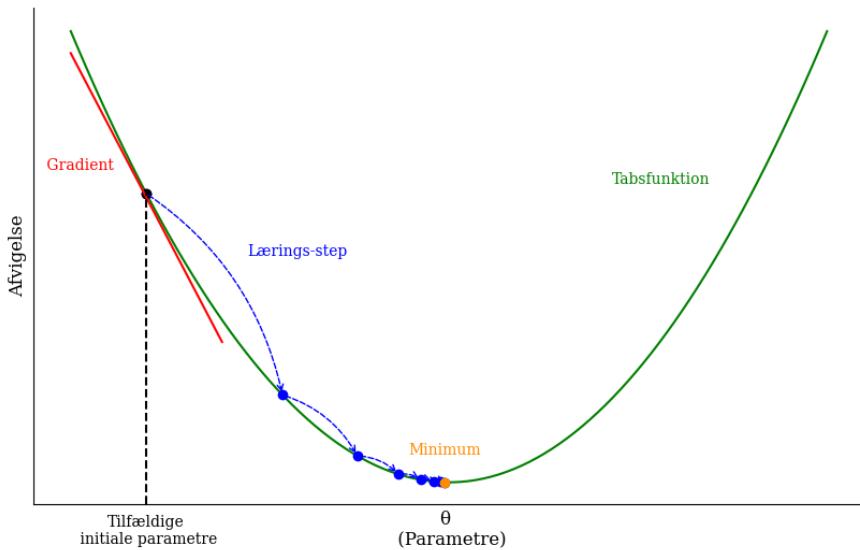
Gradienten beskriver hældningen til tabsfunktionen ved et givet set af netværkets parametre, og formålet er her at justere parametrene i modsatte retning af gradienten for at minimere tabsfunktionen (Gudimalla, 2021). Parametrene justeres ved formlen:

$$\theta_{nye} = \theta_{gammel} - \alpha * \nabla J(\theta)$$

Ovenstående formel beskriver, hvordan netværkets nye parametre (θ_{nye}) beregnes ved at justere de gamle parametre (θ_{gamle}) ved at bevæge sig i modsatte retning ($-\alpha$) af gradienten ($\nabla J(\theta)$). Her beskriver α *læringsraten*, som er endnu et hyperparameter, der angiver størrelsen af parametrenes trinvise justering med afsæt i gradienten (Wisam, 2021). Processen ved FP og BP, hvor dataet føres gennem netværket, evalueres ved tabsfunktionen, beregner gradienten og justerer vægte for at minimere afvigelserne, beskriver én træningsrunde, der også betegnes som én *epoch* (Moolayil, 2019). Hertil anvender projektet Stochastic Gradient Descent (SGD), som er en variation af den traditionelle gradient descent algoritme, der er særligt effektiv for store datasæt. Mens standard gradient descent opdaterer netværkets parametre ved at beregne gradienten baseret på hele træningssættet, opererer SGD ved at opdatere parametrene mere hyppigt, baseret på et tilfældigt udvalgt subset af data for hver iteration. Dette fører til hurtigere konvergens, idet hver opdatering kræver betydeligt mindre beregningskraft (Srinivasan, 2019).

I nedenstående figur 5 ses en grafisk illustration af, hvordan en enkelt vægt er optimeret for at minimere afvigelser ved at bevæge sig trinvist i modsatte retning af gradienten.

Figur 5 - Tidimensionel illustration af træningsprocessen



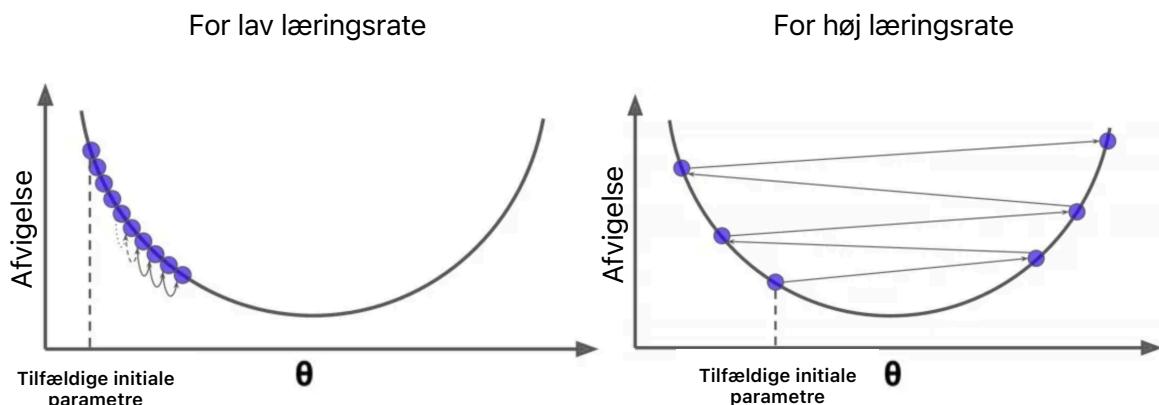
Annotering: Tidimensionel illustration, der viser den trinvise bevægelse mod optimale parameter baseret på gradient descent. Tabsfunktionen er skitserede for at fremme forståelsen.

Kilde: Egen tilskrivning pba. (Gudimalla, 2021)

Figuren illustrerer, hvordan netværkets parametre iterativt justeres mod værdien, der minimerer tabsfunktionen, ved at bevæge sig modsat gradienten. På figuren er gradienten negativ, hvorfor øgede parametre vil reducere omkostningen. Denne figur viser en optimal læringsproces for netværket, hvor parametrene trinvist optimeres indtil den minimale afvigelse opnås (Gudimalla, 2021).

Både antallet af epochs og læringsraten angiver vigtige hyperparametre, der sikrer, at netværkets parametre optimeres tilstrækkeligt. Få epochs medfører, at netværket ikke optimeres nok, hvorfor dets evne til at vurdere korrekt svækkes. Modsat vil et højt antal epochs medføre overfitting, som beskrevet tidligere, hvor netværket har ringe generaliseringsevne (Moolayil, 2019). For høj læringsrate kan medføre, at netværkets parametre justeres markant ved hver epoch, hvilket kan medføre en ustabil læringsproces, og at parametrene aldrig konvergerer til det optimale niveau. Omvendt kan en for lav læringsrate medføre en langsommelig læringsproces, hvor de optimale parametre ikke opnås (Gudimalla, 2021). Ovennævnte tilfælde illustreres i nedenstående figur 6.

Figur 6 - Illustration over konsekvenser ved for høj eller lav læringsrate



Annotering: Figuren viser konsekvenserne af den trivise justering af vægte ved for høj eller lav læringsrate.

Kilde: (Gudimalla, 2021)

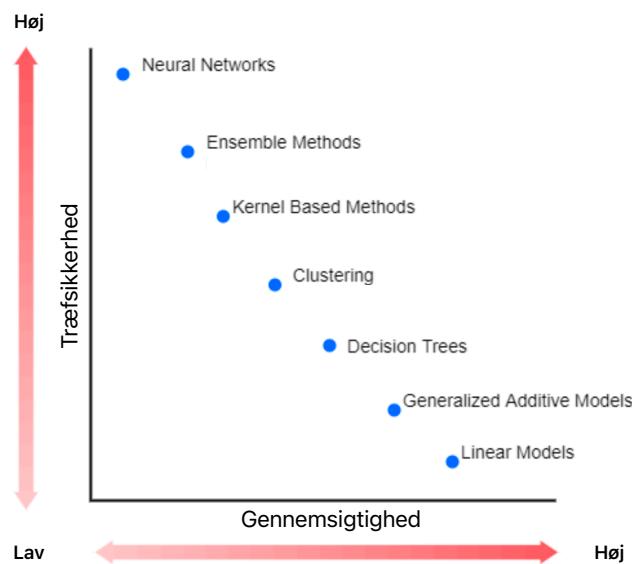
Som ovenstående gennemgang viser, er ANN en kompleks modeltype, der består af mange parametre og flere komplekse sammenhænge. Særligt de skjulte lag bidrager til en uigennemskuelig modelstruktur, hvor sammenhænge mellem in- og outputs er svære at fortolke i netværk med mange lag og neuroner (Thampi, 2022). Til gengæld er det netop de skjulte lag, som gør netværket i stand til at udvinde komplekse interaktioner og ikke-lineære effekter, hvilket gør ANN-modeller til meget

træfsikre modeltyper (Çılgın & Gökçen, 2023). Med afsæt i denne komplekse struktur har projektet haft nogle metodologiske overvejelser, der præsenteres i næstkomende afsnit.

4.1.2 Metodologiske overvejelser i forbindelse med den valgte modeltype

For et offentlig vurderingssystem er det afgørende, at vurderingerne er så præcise som overhovedet muligt. Det er samtidig lige så vigtigt, at vurderingerne er gennemsigtige. Jævnfør afsnit 3.2 blev det gamle vurderingssystem kritiseret for at være uigenremskueligt, fordi det blev suppleret med vurderingsfaglige skøn. Løsningen var ifølge Engbergudvalget at udføre vurderingerne maskinelt med afsæt i objektive tal (Skatteministeriet, 2014). Selvom denne objektive tilgang efterfølges i nærværende projekt, medfører kompleksiteten af den valgte modeltype, at det er besværligt at forklare, hvordan den enkelte vurdering laves. Årsagen hertil skal findes ved de mange parametre som ANN-modeller består af, og som er besværlige at fortolke. Med afsæt i afsnit 3.5 skabes således en afvejning i valget mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed, der i litteraturen, oftest refereres til som distanceringen mellem sort- og hvid-boks modeller (Thampi, 2022). *Sort-boks modeller* karakteriseres ved at være særdeles træfsikre, men er fra et matematisk perspektiv for komplicerede at forklare. I modsætning hertil er *hvid-boks modeller* mindre træfsikre, men er fra et matematisk perspektiv mere simple og dermed lettere at forstå (Thampi, 2022).

Figur 7 - Illustration af forskellige modeltypers placering i afvejning mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed



Annotering: Afvejningen mellem gennemsigtighed og træfsikkerhed.

Kilde: Abdullah et al. (2021)

Skillelinjen mellem hvornår en modeltype kategoriseres som sort- eller hvis-boks variant er ujævn og ikke præcist defineret litteraturen. Ifølge Thampi (2022) er denne skillelinje et sted omkring midtpunktet af figur 7. Hertil kategoriseres ANN-modeller oftest som den mest uigennemskuelige modeltype, relativt til de øvrige modeltyper, som eksempelvis GAM, der anvendes af Engbergudvalget. I forbindelse med nærværende projekts afprøvning af, hvorvidt ANN-modeller skaber højere træfsikkerhed i et vurderingssystem, har et vigtigt aspekt været, at gennemsigtigheden ikke reduceres signifikant som følge heraf. Tidligere nævnt (afsnit 3.5.2) McCluskey et al. (2013) argumenterer for, at ANN-modeller ikke kan anvendes i vurderingsøjemed som følge af en sort-boks struktur med et højt kompleksitetsniveau. I denne sammenhæng pointeres det, at selvom den generelle struktur kan skitseres, er selve resultaterne umulige at forklare. Anvendelsen af denne modeltype i vurderingsøjemed skal derfor bero på en vis grad af tillid eller eksplisit demonstrering af træfsikkerhed (McCluskey et al., 2013). Argumenterne fremført af McCluskey et al. (2013) er formuleret på et tidspunkt, hvor der i højere grad var fokus på maskinlæringsmodellers resultater fremfor evnen til at forklare disse. Siden da har interessen for metoder, der gør maskinlæringsalgoritmer mere gennemsigtige, været stigende. Dette har resulteret i forskningsområdet *Explainable AI* (XAI), der beskæftiger sig med at mindske afvejningen mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed (Abdullah et al., 2021; Adadi & Berrada, 2018).

XAI er separate metoder, oftest anvendt post-hoc, der benyttes til at forklare både lokale individuelle vurderinger og det globale virke af en sort-boks model (Adadi & Berrada, 2018). Netop udviklingen indenfor XAI har været afgørende for projektets valg af model, da omkostningen mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed reduceres, når der anvendes komplekse modeller. På den ene side er det nye vurderingssystems modeltype placeret i den gennemsigtige ende af dette spektrum, mens modeltypen anvendt i nærværende projekt er placeret i den anden ende, nær træfsikkerhed. På den anden side, har det nye vurderingssystem mødt kritik af dets lave træfsikkerhed, hvorfor det netop kan være nødvendigt at revurdere denne afvejning med udgangspunkt i XAI, der kan siges at reducere bivirkningerne. Hvorvidt projektets afvejning kan retfærdiggøres, sidestilles projektets diskussion. Som XAI-metode anvender nærværende projekt *SHapley Additive exPlanations* (SHAP), der bygger på spilteori for at skabe mere gennemsigtighed i den enkelte vurdering. SHAP præsenteres i næstkommende afsnit.

4.1.3 XAI: SHapley Additive exPlanations (SHAP)

SHAP er den mest anvendte og velansete metode til at skabe en forståelse af maskinlæringsmodellers resultater. SHAP er en post-hoc metode, der anvendes efter træningen af en maskinlæringsmodel og er populær, da den tager afsæt i et spilteoretisk fundament (Liga, 2022). I det følgende tilsigter projektet at beskrive SHAP på et generelt og konceptuelt plan, hvor den overordnede forståelse af metoden skitseres⁶. SHAP er udviklet af Scott Lundberg og Lee Su-In i 2017 og tager afsæt i kooperativ spilteori ved såkaldte *Shapley-værdier*, der originalt er formuleret af Lloyd Shapley i 1953 (Molnar, 2022). Konceptet om Shapley-værdier beror på et kooperativt spil, hvor spillerne samarbejder på kryds og tværs om at generere et samlet *payoff*. Grundideen er således at tildele hver spiller en del af den samlede gevinst, der præcist afspejler spillerens bidrag (Shapley-værdien) til samarbejdet, uafhængigt af rækkefølgen, de indtræder i spillet. Shapley-værdien beregnes for hver spiller ved at gennemgå enhver mulig kombination af spillere og måle forskellen i den samlede gevinst med og uden denne spiller (Cooper, 2022).

I konteksten af maskinlæringsalgoritmer betragtes én dataobservation som ét spil, hvert input betragtes som én spiller og modellens output betragtes som payoff. Beregningen af SHAP-værdierne indebærer således, at enhver kombination af karakteristika overvejes, og at forskellen i modellens vurderinger beregnes, når den undersøgte karakteristika indgår, og når den ikke gør (Molnar, 2022). Gennemsnittet på tværs af alle kombinationer angiver den specifikke karakteristikas marginale bidrag til vurderingen. Helt lavpraktisk simulerer SHAP derfor, hvordan en maskinlæringsmodels output ændres, når en karakteristika er til stede sammenlignet med udeladelsen af den. Differencen i modellens vurdering, når det specifikke karakteristika er til stede og ikke, angiver derfor det specifikke karakteristikas marginale bidrag til vurderingen.

Til dette anvender SHAP ligeledes modellens gennemsnitlige vurdering som referencepunkt, hvilket repræsenterer modellens vurdering, når ingen karakteristika er til stede (Aboze, 2023). Hver SHAP-værdi beskriver derfor et karakteristikas positive eller negative tillæg, relativt til den gennemsnitlige vurdering af alle observationer. Selvom SHAP-værdierne beskriver et *lokalt* perspektiv, altså indflydelsen af hver karakteristika på vurderingen af én specifik ejendom, kan disse aggregeres på tværs af alle ejendomme for at skabe et *globalt* perspektiv (Aboze, 2023). Dette medfører, at SHAP både kan anvendes til at beskrive hver vurdering og samtidig illustrere hvilke variable, der i gennemsnit betyder mest for alle vurderingerne.

⁶ For en matematisk gennemgang af Shapley-værdier og SHAP refererer projektet til Molnar (2022).

På baggrund af det spilteoretiske fundament opfylder SHAP-værdier, som en af de eneste XAI-metoder, tillige nogle vigtige egenskaber (Aboze, 2023; Molnar, 2022). Egenskaberne opsummeres i nedenstående tabel 3.

Tabel 3 - Vigtige egenskaber for SHAP-værdier

Additive egenskaber	SHAP-værdier kan lægges sammen for at vise det fælles bidrag fra flere variable til modellens forudsigelse. Dette hjælper med at forstå den kombinerede effekt af flere variable på modellens output.
Symmetriske egenskaber	Såfremt to karakteristika bidrager lige meget til en vurdering, vil de få samme SHAP-værdier.
Efficiens egenskab	Summen af alle SHAP-værdier for én observation viser den eksakte forskel mellem modellens vurdering og den gennemsnitlige vurdering.

Annotering: Tabellen opilater nogle vigtige egenskaber ved SHAP-værdier i konteksten af maskinlæringsalgoritmer.

Kilde: Baseret på Aboze (2023)

Disse egenskaber er med til at sikre en grundlæggende tiltro til beregningerne, og medfører derfor pålidelighed i dets resultater. Netop disse egenskaber er medvirkende til SHAP-værdiers popularitet inden for XAI (Aboze, 2023; Liga, 2022).

4.1.4 Naturlig usikkerhed i vurderinger

Af Ejendomsvurderingsloven fremgår det, at vurderingerne skal ansættes ud fra den forventelige kontantpris. Uanset den anvendte metode er det ikke være muligt at vurderer eksakte priser, der er i overensstemmelse med de faktiske handelspriser i frit marked for alle ejendomme. Årsagen til dette er den naturlige usikkerhed eller variation, der findes ved den aftalte pris mellem køber og sælger i frit marked. Sælger kan ønske at sælge hurtig, køber kan tillægge ejendommen stor affektionsværdi eller andre individuelle og subjektive forudsætninger for den aftalte handelspris (Skatteministeriet, 2014). Ultimativt eksisterer en korrekt prisfastsættelse af ejendomme ikke, eftersom handelsprisen er et produkt af to enestående parter, der kan have vidt forskellige forudsætninger i prisfastsættelsen af en ejendom. Interaktionen mellem køber og sælger skaber derfor et niveau af individuel subjektivitet og individuelle præferencer, der endeligt afgør den faktiske handelspris. Uagtet vurderingsmetoden er dette umuligt at tyde, hvilket tillige understøttes at Engbergudvalget (2014), Skatteministeriet (2016) og DØRS (2016).

Under Covid-19 pandemien forudsås et generelt fald i boligpriserne, som følge af det midlertidige fald i indkomsten og stigende renter. Alligevel blev en markant stigning i de generelle boligpriser observeret, hvilket ifølge Danmarks Nationalbank skyldtes en generel stigning i påskønnelsen af bolig, da priserne steg mere end hvad indkomst- og renteudviklingerne tilskrev. Dette kan eksempelvis skyldes et ønske om et ekstra værelse eller udendørsarealer i en periode, hvor folk skulle opholde sig mere i hjemmet (Hetland et al., 2021). Ud fra dette perspektiv var ejendomme mere værd, som følge af et subjektivt tillæg fra køber og dels sælger, hvilket vil ikke kunne estimeres udelukkende på baggrund af ejendommens karakteristika. Derudover er ejendomsmarkedet tillige et marked præget af ufuldkommen information, hvor ejendomme ligeledes ikke er ensartede goder, hvorfor der ikke nødvendigvis eksisterer en entydig handelsværdi, som vurderingerne skal tilsigte (DØRS, 2023). Derudover påpeger Engbergudvalget at standsmæssige forhold i mange tilfælde vil gøre sig gældende, men ikke er mulige at inkluderer i vurderingen, grundet datamangel af sådan forhold. Samtidig med at stand er en yderst subjektiv vurdering (Skatteministeriet, 2014).

Pointen med ovenstående er, at de faktiske handelspriser beror på subjektive og individuelle elementer, der ikke er målbare eller nødvendigvis konstante over tid, men som kan ske at spille en afgørende rolle for prisfastsættelsen af ejerboliger i. Af disse årsager benytter Skatteministeriet (2014; 2016) ligeledes ± 20 pct. indenfor faktisk handelspris, som primært mål for træfsikkerhed af systemets vurderinger, således at der tages højde for usikkerheden i de faktiske handelspriser. Dette evalueringsparameter og de øvrige, som anvendes i nærværende projekt, introduceres i følgende afsnit.

4.1.5 Evalueringsparametre

For at evaluere træfsikkerheden i nærværende projekt anvendes samme evalueringsparametre som Skatteministeriet (2014) med henblik på at skabe et sammenligneligt grundlag. Evalueringsparametrene gennemgås i det nedenstående.

4.1.5.1 Plus-minus 20 pct. (PM20):

PM20 er det primære evalueringsparameter, der anvendes af Skatteministeriet (2014; 2016) til at beskrive vurderingssystemets træfsikkerhed, da den tager højde for vurderingernes naturlige usikkerhed. PM20 angiver, hvor stor en andel af modellens vurderinger, der er indenfor 20 pct. af dets faktiske handelspris. Formlen for PM20 er givet ved:

$$PM20 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbb{I} \left(\left| \frac{P_{realiserede_i} - P_{prædikeret_i}}{P_{prædikeret_i}} \right| \leq 0.2 \right) * 100$$

Hvor $P_{realiserede_i}$ og $P_{prædikeret_i}$ er værdierne for henholdsvis den faktiske salgspris og modellens vurdering i kroner for observation i af N . Hertil er \mathbb{I} en logisk indikator, der returnerer 1 såfremt den absolute afvigelse er mindre end eller lig med 20 pct. I projektet anvendes ligeledes betegnelserne P20 og M20, der angiver andelen af ejendomme, der er vurderet henholdsvis over eller under 20 pct. af de realiserede handelspriser. PM20 vil som benævnt tidligere i projektet, oftest refereres til som *træfsikkerheden*, da det er den primære evalueringsparameter, der henvises til når vurderingernes præcision beskrives af Skatteministeriet (2014).

4.1.5.2 Mean absolute error (MAE):

MAE angiver den gennemsnitlige absolutte afvigelse blandt alle modellens vurderinger, og beskriver i hvor stort omfang vurderingerne stemmer overens med de faktiske handelspriser udtrykt i kroner. MAE er givet ved formlen:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_{realiseret_i} - P_{prædikeret_i}|}{N}$$

MAE opgøres i kroneværdier, hvilket illustrerer modellens præcision til at vurderer så tæt på de faktiske handelspriser. MAE kan dog være påvirket af store afvigelser, der kan trække den gennemsnitlige afvigelse op (Skatteministeriet, 2014).

4.2 Data

Ifølge Ejendomsvurderingsloven skal vurderingen af en ejendom ansættes efter kontantværdien i fri handel. For at gøre dette udelukkende baseret på objektive data, er det vigtigt, at det anvendte modelværktøj er estimeret på baggrund af et stort antal faktiske handelspriser og oplysninger af høj kvalitet. Samtidig, som påpeget i afsnit 3.5, har maskinlærings og ANN-modeller en større træfsikkerhed ved større datasæt. Derfor har en intention ved projektets dataindsamling været at indsamle så mange frie salg af ejendomme som muligt og samtidig inkludere mange forskellige karakteristika.

Datagrundlaget anvendt i nærværende projekt består af ca. 2.000.000 individuelle alm. frie salg af ejerlejligheder, parcel- og rækkehuse i årene 2000 til 2023 solgt for over 100.000 kr. Salgene er hentet

fra Boliga.dk ved såkaldt Data-scraping⁷, og dækker over ca. 980.000 unikke adresser. Det vil sige, at flere ejendomme optræder mere end én gang blandt de ca. 2 mio. handler. Projektet anvender seneste salgspris, mens næstsidste salg inkluderes som forklarende variabel. Eventuelle øvrige salg frasorteres.

Hver ejendom er tilknyttet datospecifikke karakteristika, der forventes af have en indflydelse på prisen blandt ejendomme. I indsamlingen af de mange karakteristika drages inspiration fra litteraturen, der behandler danske ejerboliger på mikroplan, herunder Engbergudvalget (Skatteministeriet, 2014), Hansen og Iversen (2023) samt Adolfsen et al. (2022). Med afsæt i disse inkluderer nærværende projekt en lang række fysiske og geografiske karakteristika samtidig med, at der beregnes en nærområdepris. Nærområdeprisen beskrives særskilt i afsnit 4.2.2.

Til projektets dataindsamling drages der desuden inspiration fra makroøkonomisk litteratur om boligmarkedet i Danmark og salgsopstillinger af ejendomme fra forskellige ejendomsmæglere. Her observeres det, at blandt andet renteforhold, udbud og økonomisk aktivitet er variable, der oftest optræder i empiriske undersøgelser af det danske boligmarked (Skaarup & Bødker, 2010; Wagner, 2005). Samtidig fremgår afstande til eksempelvis skoler, daginstitutioner og indkøbsmuligheder⁸ oftest på ejendomsmægleres salgsopstillinger, men indgår ikke i hverken Engbergudvalgets udlæg, Hansen og Iversen (2023) eller Adolfsen et al. (2022). Disse supplerende variable inkluderes derfor i nærværende projekt. En oversigt over projektets anvendte variable fremgår af tabel 4.

Indhentningen af alle anvendte karakteristika har været særdeles tidskrævende, da oplysningerne stammer fra mange forskellige kilder. Oplysninger og ejendommenes karakteristika samt placeringen af forskellige interesseområder stammer hovedsageligt fra en lang række offentlige registre, da disse ikke kan findes ét samlet sted. Kilderne anvendt til indsamlingen fremgår af projektets appendiks 9.2, der beskriver projektets datagrundlag, hvor det tilmed fremgår, hvad de forskellige variable og karakteristika indebærer, samt eventuel filtrering heraf.

⁷ Dvs. at dataet er hentet ved automatisk at gennemgå adskillige sideres HTML-kode for Boliga.dk's hjemmeside og kopiere dataet, som Boliga har givet særskilt tilladelse til, da det kan belaste enkelte hjemmesiders funktionalitet.

⁸ Se eksempelvis salgsopslag på NyBolig.dk

Nærværende projekt korrigerer for manglende oplysninger og outliers⁹, hvilket medfører, at det samlede datagrundlag består af i alt 700.388 observationer af individuelle ejendomme, og deres seneste handelspris ved alm. frit salg. På baggrund af korrigeringen indsnævres projektets tidshorisont til perioden 2004 til 2023, da udbudsdata fra FinansDanmark ikke er tilgængeligt før 2004.

Tabel 4 - Nærværende projekts anvendte datagrundlag

Variabel	Type	Variabel	Type
<i>Afhængige variabel</i>			
Handelsprisen (kr./m ²)	Numerisk		
<i>Fysiske karakteristika</i>			
Antal værelser	Numerisk	Opførselsår	Numerisk
Etager i moderejendommen	Numerisk	Boligareal	Numerisk
Badeforhold	Kategorisk	Toiletforhold	Kategorisk
Tagmateriale	Kategorisk	Ydervægsmateriale	Kategorisk
Varmeinstallation	Kategorisk	Antal etager i boligen	Numerisk
Om-/tilbygningsår	Numerisk	Opvarmningsmiddel	Kategorisk
Areal af indbygget carport	Numerisk	Supplerende varmekilde	Kategorisk
Areal af indbygget udhus	Numerisk	Areal af indbygget garage	Numerisk
Energinærke	Numerisk	Areal af indbygget udestue eller lign	Numerisk
Kælderareal	Numerisk	Grundstørrelse	Numerisk
(Ekstern) Garage	Binær	(Ekstern) Carport	Binær
(Ekstern) Udhus	Binær	Antal badeværelser og toiletter	Numerisk
Fritliggende overdækning	Binær	Fritliggende udestue	Binær
<i>Geografiske karakteristika</i>			
Afstand til nærmeste kyst	Numerisk	Afstand til nærmeste indkøbsmulighed	Numerisk
Afstand til nærmeste normalvej	Numerisk	Afstand til nærmeste hovedvej	Numerisk
Afstand til nærmeste vindmølle	Numerisk	Afstand til nærmeste skole	Numerisk
Afstand til nærmeste børnehave eller daginstitution	Numerisk	Afstand til nærmeste station	Numerisk
Afstand til nærmeste jernbane	Numerisk	Afstand til nærmeste højspændingsledning	Numerisk
Afstand til nærmeste skov	Numerisk	Afstand til nærmeste sø	Numerisk
Afstand til nærmeste vandløb	Numerisk	Kommune	Kategorisk
<i>Øvrige karakteristika</i>			
Sidste salgspris	Numerisk	Sidste salgsdato	Numerisk
Nærrområdeprisen	Numerisk	Dato for salg	Numerisk
<i>Samfundsøkonomiske variable</i>			
Renten v. salg	Numerisk	BNP v. salg	Numerisk
Udbud v. salg	Numerisk		

Annotering: For nærområdeprisen er ligeledes min., maks., gns. og median distance til referenceejendomme, samt spredningen i nærområdepriserne. Hertil også interaktioner i anden ved kr./m² og skaleret udgave som påpeget i Skatteministeriet (2014).

⁹ Flere ejendomme mangler specielt energimærke, hvorfor elimineringen af ejendomme uden energimærke reducerer observationsantallet betydeligt. Outliers er udfundet ved handelspriser over eller under tre standardafvigelse.

4.2.1 Fremskrivning og geografiske afstande

I det anvendte datagrundlag bør to pointer særligt bemærkes. Eftersom de indhentede handelspriser varierer over tid, er det nødvendigt at fremskrive priserne til sammenlignelig prisenhed. I Engbergudvalgets udlæg er dette jævnfør afsnit 3.3.4 opnået ved individuelle prisindeks, hvor de 50 nærmeste ejendomme til den pågældende ejendom findes i året for handelstidspunktet og vurderingsåret, hvor prisen justeres herefter (Skatteministeriet, 2014). Denne fremskrivning kræver et fyldestgørende grundlag, som nærværende projekt har vurderet, ikke er muligt. Derfor justeres priserne efter den gennemsnitlige kvadratmeterpris af realiserede handler efter landsdele ved brug af kvartalsdata fra FinansDanmark¹⁰. Alle handelspriserne er således fremskrevet til 2022 1. kvt. prisniveau ved brug af en opdeling af landsdele.

Derudover er det anvendte koordinatsystem projekteret til EPSG 25832 (ETRS89 / UTM zone 32N), hvilket er et koordinatsystem, der projekterer klodens kurvatur til todimensionel plan for et område, der indebærer Danmark (ArcGIS, 2012; epsg.io, 2024). Dette faciliterer, at afstandsberegningerne kan foretages på baggrund af den euklidiske distance mellem to punkter ved formlen:

$$\text{Meter distance} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

I takt med koordinatsystemets projektering, og at euklidiske distancer anvendes, er de beregnede afstande approksimerede, da koordinatsystemet ikke kan tage højde for klodens kurvatur. Ligeledes er afstandene målt som meterafstanden i fugleflugtslinje. De forskelligartede afstande mellem den enkelte ejendom og de forskellige interesseområder er derfor ikke helt eksakte (ArcGIS, 2012; epsg.io, 2024).

4.2.2 Nærområdepris

Både Skatteministeriet (2014; 2016) samt Hansen og Iversen (2023) lægger vægt på, at ejendomme solgt i nærområdet til den bestemte ejendom, giver en god indikation på ejendommens mulige handelspris. Jævnfør afsnit 3.3.5 beregnes nærområdeprisen i det nye vurderingssystem efter den vægtede gennemsnitlige kvadratmeterpris, hvor vægtene til hver referenceejendom er konstante og afhænger af referenceejendommens relative afstand til den pågældende. Det betyder eksempelvis for

¹⁰ For landsdel Bornholm mangler enkelte kvartaler, hvorfor disse er udfyldt lineært på baggrund af forløbende og efterfølgende kvartal.

parcelhuse, at den fjerde nærmeste referenceejendom vægtes 10.2 pct. uagtet om distancerne til den pågældende ejendom er 20 eller 100 km. I denne vægtning tages dermed ikke højde for den eksakte distance, men kun den relative distance indbyrdes mellem referenceejendommene. I Engbergudvalgets nærområdepris anvendes kun mediankvadratmeterprisen uden vægte (Skatteministeriet, 2014).

I nærværende projekt afprøves forskellige udgaver af beregninger for nærområdeprisen, hvor afstanden anvendes mere eksplizit til at beregne et vægtet gennemsnit af referenceejendommernes kvadratmeterpris. De afprøvede vægte er baseret på Bisquare-, Gaussian-, eksponentiel-, lineær-, og Invers-Distance-vægte (IDW), hvis formler defineres i projektets appendiks 9.3. Karakteristiks for hver vægtning er, at de vægter nærmeste referenceejendomme mest. Ydermere inkluderes den simple gennemsnitlige og median kvadratmeterpris for at påpege vægtningens relevans.

Hver vægtning afprøves ved et stigende antal referenceejendomme for hver af de tre ejendomstyper med henblik på at se, hvilken kombination af vægtning og antal referenceejendomme, der bedst beskriver den enkelte ejendoms pris. Hertil afprøves intervallet af fem til 50 referenceejendomme. Kriterierne for udvælgelse af referenceejendomme er; (1) samme ejendomstype og (2) solgt samme år eller før den pågældende. Som mål for nærområdeprisens præcision anvendes den gennemsnitlige absolute afvigelse i procent (MAPE) fra den faktiske handelspris. I projektets appendiks 9.4 fremgår resultaterne ved afsprøvningen, hvor det illustreres, hvordan MAPE udvikler sig ved stigende antal referenceejendomme for hver metode til vægtning.

På tværs af alle vægtningsmetoderne ved skiftende antal referenceejendomme findes, at IDW vægte forårsager en nærområdepris, som er tættest på de faktiske handelspriser for alle ejendomstyper. Af figuren i appendiks 9.4. bemærkes det ligeledes, at IDW vægte forårsager en nærområdepris, der afviger mindre sammenlignet med den simple median, som Engbergudvalget benytter. Dette vidner om, at det for projektets datagrundlag er relevant eksplizit at anvende og korrigere for den eksakte afstand. Ligeledes er der stor forskel på antallet af anvendte referenceejendomme, idet Engbergudvalget eksempelvis blot benytter 10 referenceejendomme for ejerlejligheder. Resultaterne af den bedste kombination af vægte og referenceejendomme fremgår af nedenstående tabel 5.

Tabel 5 - Optimeret vægtet nærområdepris og antal referenceejendomme efter ejendomstype

Ejendomstype	Vægtnings-metode	Antal referenceejendomme	MAPE
Ejerlejligheder	IDW	22	17.18 pct.
Parcelhuse	IDW	15	48.12 pct.
Rækkehuse	IDW	14	20.33 pct.

Annotering: Tabellen viser kombinationen af vægtningsmetode og antal referenceejendomme, der medfører nærområdepriser, der er tættest på de faktiske handelspriser. Referenceejendomme er valgt efter nærmeste ejendomme af samme kategori, der er solgt samme år eller før den pågældende.

Kilde: Egne beregninger.

Nærområdeprisen i nærværende projekt er derfor beregnet ud fra et vægtet gennemsnit af kvadratmeterprisen af de 22 nærmeste referenceejendomme for ejerlejligheder, de 15 nærmeste for parcelhuse og 14 nærmeste for rækkehuse.

4.3 Datagennemgang og modelopbygning

Afsnittet vil kort præsentere variationen i pris og geografisk placering af de ejendomme, der indgår i projektets datagrundlag for at give indblik i fordelingen heraf. Dernæst gennemgås projektets ANN-modeller, hvor opbygningen og den endelige udformning af disse beskrives.

4.3.1 Datagennemgang

Formålet med datagennemgangen er at give et indblik i fordelingen af projektets variable, og at skabe en forståelse for datagrundlagets sammensætning, der kan være medforklarende til modellernes resultater.

4.3.1.1 Antal observationer

I det anvendte datagrundlag er der en væsentlig forskel i antallet af observationer på tværs af de tre ejendomstyper. Antallet af observationer fordelt mellem ejendomstyperne fremgår af nedenstående tabel 6.

Tabel 6 - Antallet af ejendomme i projektets datagrundlag efter ejendomstype

Ejendomstype	Antal ejendomme	Procent
Parcelhuse	479 356	68.4 pct.
Ejerlejligheder	136 930	19.6 pct.
Rækkehuse	84 102	12.0 pct.
Samlet	700 388	100 pct.

Annotering: Tabellen viser antallet af ejendomme indenfor hver ejendomstype og dets procent af det samlede datagrundlag.

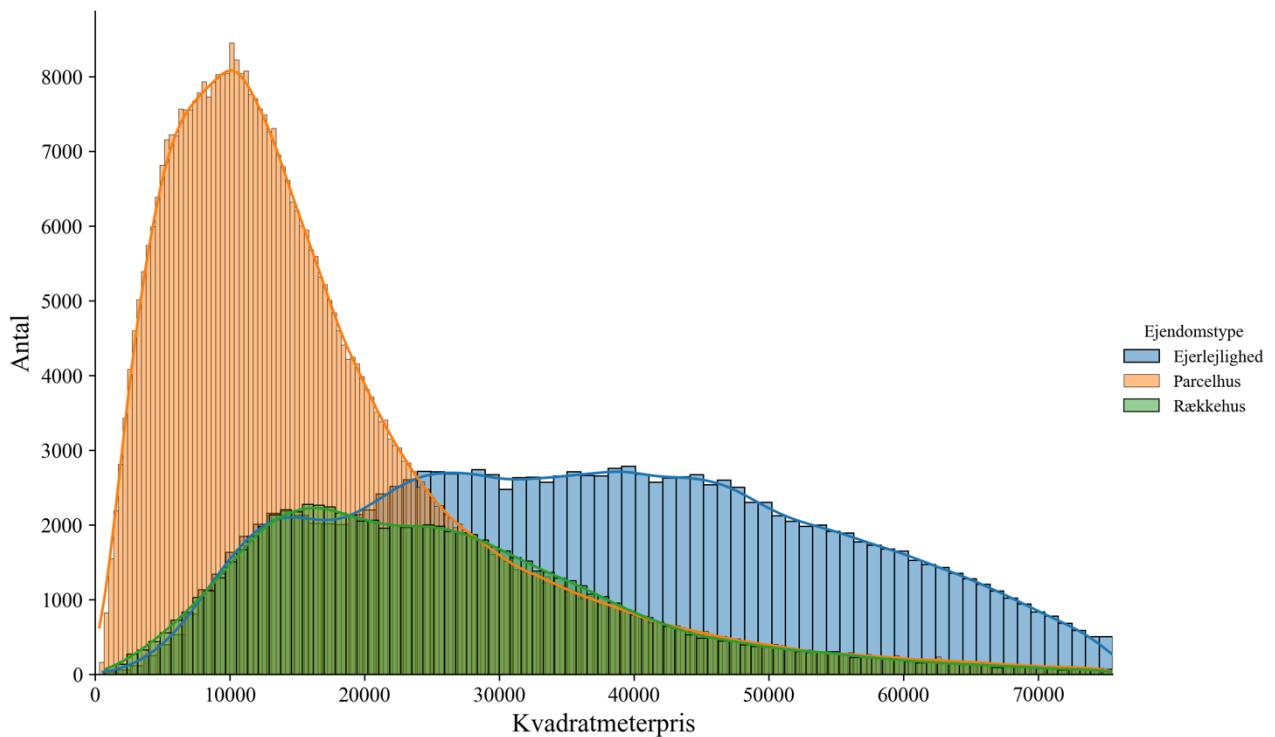
Kilde: Egne beregninger.

Den relative forskel mellem antallet af observationer har ingen direkte indflydelse på træfsikkerheden af nærværende projekts modeller, da der opstilles én model for hver ejendomstype. Som påpeget i afsnit 3.5 har ANN og maskinlæringsmodeller dog en forbedret træfsikkerhed ved større datagrundlag. Dog vidner den store forskel i antallet om, at der blandt parcelhuse kan være en betydelig større variation, hvilket i projektet forudsætter et større antal neuroner. Omvendt er der et stort grundlag for at træne og evaluere modellen for parcelhuse, hvilket kan bidrage til en mere robust model.

4.3.1.2 Kvadratmeterprisen og geografisk variation

Der er tilsvarende stor forskel i fordelingen af handelspriserne blandt de forskellige ejendomstyper, hvor ejerlejligheder har tendens til at have en højere kvadratmeterpris. I nedenstående figur 8 fremgår fordelingen af handelspriser for de tre ejendomstyper:

Figur 8 - Fordelingen af kvadratmeterpriser i projektets datagrundlag efter ejendomstype



Annotering: Figuren viser et histogram over fordelingen af kvadratmeterpriser i projektets datagrundlag opdelt efter ejendomstype.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af datagrundlaget

Fordelingen illustrerer, at parcel- og rækkehuse overordnet set har lavere kvadratmeterpriser end ejerlejligheder, der omvendt har en mere jævn fordeling af kvadratmeterpriser. Fordelingen for parcel- og rækkehuse er skævt, hvilket betyder, at en større andel af disse er solgt for lavere beløb relativt til ejerlejligheder. Dette er særdeles tydeligt for parcelhuse, der i forhold til både rækkehuse og ejerlejligheder har et større antal ejendomme solgt for lave beløb. Dette illustreres tillige ved, at mediankvadratmeterprisen for parcelhuse er lavest ved 13.400 kr./m² og højest for ejerlejligheder ved 36.792 kr./m², mens rækkehuse har en mediankvadratmeterpris på 23.790 kr./m².

Handelspriserne varierer ligeledes over den geografiske placering, hvor kvadratmeterprisen tenderer til at være højest i og omkring storbyerne. Dette fremgår af figur 9, der illustrerer alle ejendomme i projektet og deres kvadratmeterpris, samt figuren i appendiks 9.5, der viser placeringen af de 5.000 ejendomme med lavest og højest kvadratmeterpriser. Figurerne illustrerer, at kvadratmeterprisen er højest omkring København og Aarhus, samt at priserne generelt stiger desto tættere ejendommen er

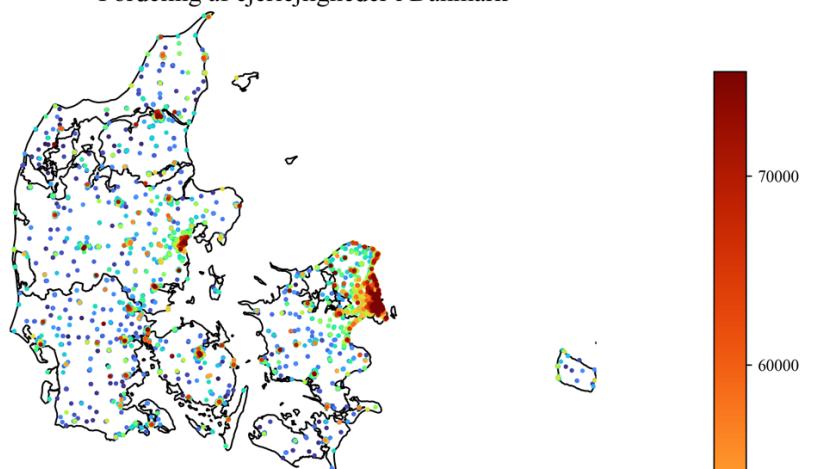
placeret på større byer, herunder Odense, Aalborg og Esbjerg¹¹. Modsat er der en tendens til, at de laveste priser er placeret i udkantsområderne, eksempelvis Lolland og Vestjylland, der har lavere kvadratmeterpriser end den øvrige del af landet for alle ejendomstyper.

En anden vigtig pointe er ligeledes, at ejerlejligheder og rækkehuse er geografisk centreret i storbyområderne, hvorfor der ikke forekommer mange af disse ejendomme i yderområderne. Eksempelvis kan det af figur 9 bemærkes, at rækkehuse dækker en større andel af Jylland relativt til ejerlejligheder på trods af, at antallet af ejerlejligheder er størst. Som påpeget i afsnit 3.5 er områderne med flest ejendomme ligeledes de områder, hvor den højeste træfsikkerhed blev opnået i både dansk og udenlandske eksempler. Gør dette sig tillige gældende for nærværende projektets modeller, vil træfsikkerheden være højest i Hovedstads- og Storbyområderne, mens træfsikkerheden vil være lavest i udkantsområderne. For rækkehuse og ejerlejligheder medfører ovenstående pointer, at nærområdeprisen for ejerlejligheder og rækkehuse er baseret på referenceejendomme, der i højere grad ligger længere fra den pågældende, desto længere væk den pågældende ejendom ligger fra storbyerne. Parcelhuse er jævnt fordelt over hele landet, hvorfor afstanden mellem den pågældende ejendom og dets referenceejendomme er kortere. Nærområdeprisen for parcelhuse vil derfor i højere grad afspejle de geografisk gældende forhold, mens den for ejerlejligheder og rækkehuse placeret i udkantsområderne baseres på referenceejendomme, der er placeret længere væk fra den pågældende. Den geografiske variation i projektets træfsikkerhed berøres i gennemgangen resultaterne.

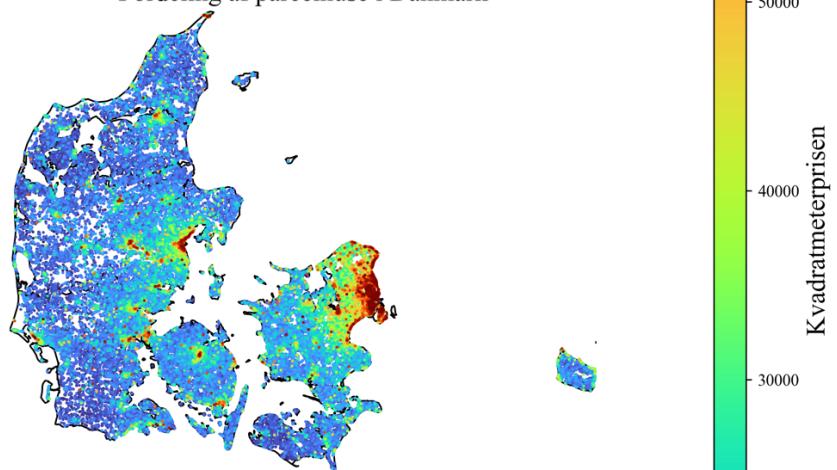
¹¹ København, Aarhus, Odense, Aalborg og Esbjerg er betegnet og omtalt som storbyer(ne) i projektets arbejde.

Figur 9 - Placering og pris af projektets undersøgte ejendomme

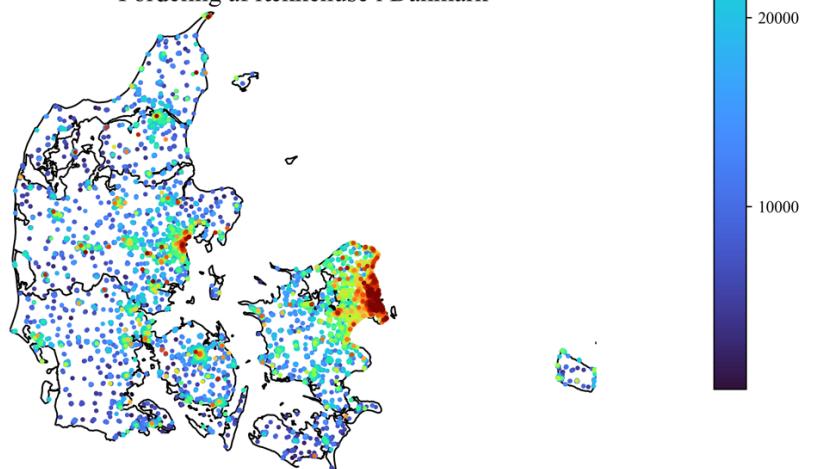
Fordeling af ejerlejligheder i Danmark



Fordeling af parcelhuse i Danmark



Fordeling af rækkehuse i Danmark



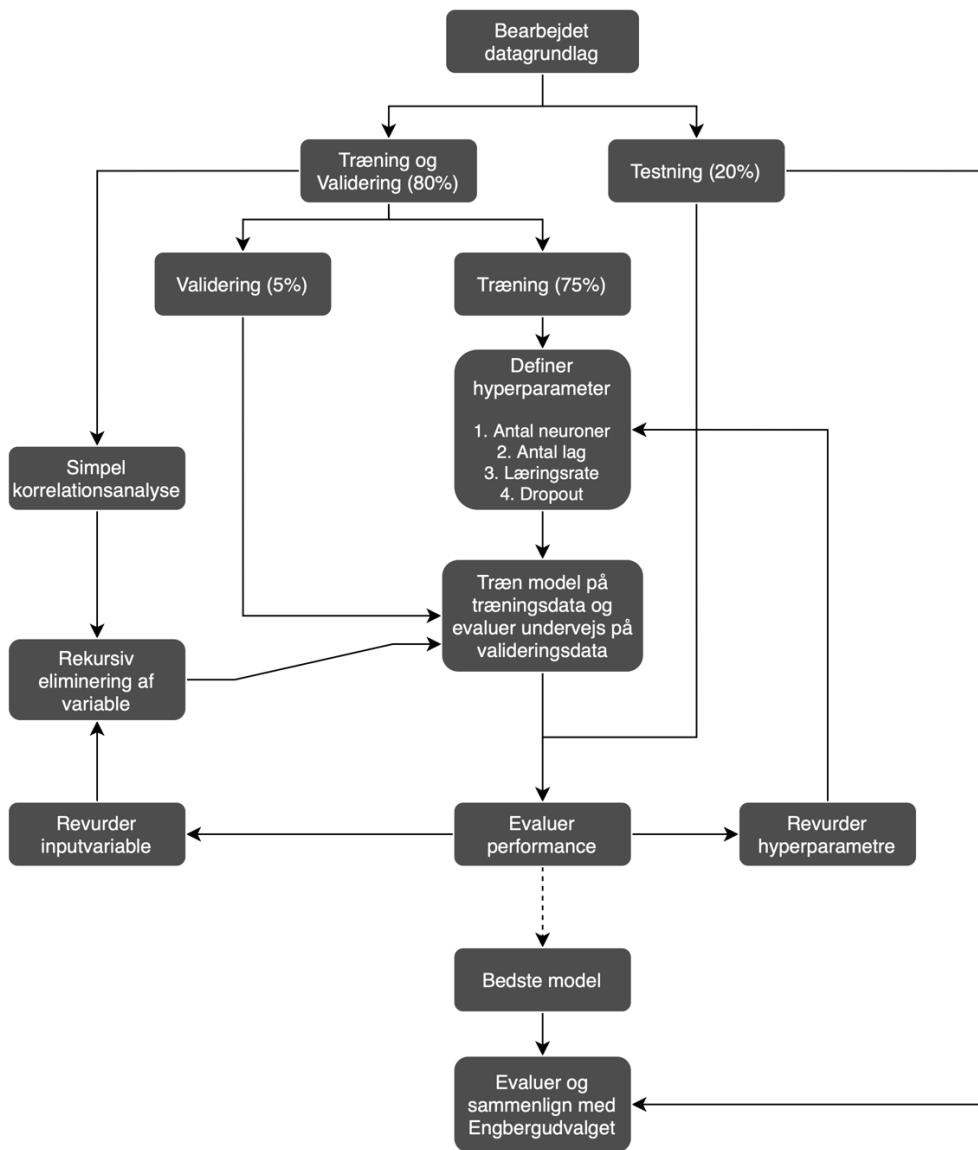
Annotering: Hver markering på ovenstående kort illustrerer én ejendom. Ikke alle ejendomme fremgår af kortene grundet overlap mellem markeringerne. Ligeledes afviger størrelsen af markeringerne for parcelhuse fra de øvrige grundet det store antal ejendomme.

Kilde: Egen tilskrivning på baggrund af datagrundlag.

4.3.2 Procesfremgang i opbyggelse af model

At opbygge statistiske modeller og ANN-modeller er oftest en iterativ proces, der indebærer afprøvninger af adskillige variationer og strukturer for at undersøge, hvilken sammensætning, der sikrer modellernes bedste præstation. Den anvendte fremgangsmåde i nærværende projekt skitseres nedenfor i figur 10. Fremgangsmåden er anvendt separat for hver ejendomstype.

Figur 10 - Projektets fremgangsmetode til opbyggelse af neurale netværk



Annotering: Diagrammet viser en skitseret udgave af den iterative proces ved projektets opbygning af modeller fra input til output.

Bemærkninger: Diagrammet er skitseret.

Kilde: Egen tilskrivning.

Indledningsvist er de kontinuerlige input-variable standardiseret således, at de befinder sig på en sammenlignelig skala. I ANN- og ML-modeller er standardisering af input-variable almen praksis og kan i flere tilfælde øge præcisionen og reducere træningstiden (Pipal, 2023). I nærværende projekt findes, at modellerne har højest præcision ved anvendelse af en standardiseret skala¹². Ligeledes er de kategoriske variable omskrevet til *dummy-variable*, hvilket betyder, at der oprettes én ekstra kolonne for hver unik kategori, der får værdien 1, såfremt ejendommen indgår i denne kategori, og ellers 0 (Moolavil, 2019).

Figur 11 - Eksempel på dummy-variable

The diagram illustrates the transformation of categorical variables into dummy variables. On the left, a table shows 'Ejendom' (Household) and 'Kommune' (Municipality) for five households. An arrow points from this table to a larger table on the right, which shows the same data transformed into a one-hot encoding format. The right table has columns for 'Ejendom', 'Aarhus', 'Aalborg', 'Favrskov', and 'Skive'. The 'Aarhus' column contains values 1, 0, 0, 0, and 0 respectively for each household. The 'Aalborg' column contains values 0, 1, 0, 0, and 0. The 'Favrskov' column contains values 0, 0, 1, 0, and 0. The 'Skive' column contains values 0, 0, 0, 0, and 1.

Ejendom	Kommune	Ejendom	Aarhus	Aalborg	Favrskov	Skive
1	Aarhus	1	1	0	0	0
2	Aalborg	2	0	1	0	0
3	Aalborg	3	0	1	0	0
4	Favrskov	4	0	0	1	0
5	Skive	5	0	0	0	1

Annotering: Illustrationen viser, hvordan en kategorisk variabel omskrives til dummy-variabel. Metoden er i litteraturen omtalt *one-hot encoding* og er almen praksis i arbejdet med statistiske modeller (Moolayil, 2019)

Kilde: Egen tilskrivning baseret på Moolayil (2019)

Datasættet opdeles dernæst i tre dele; trænings-, validerings- og testsæt. Træningssættet er den andel af det samlede datasæt som modellen trænes på. Det vil sige, at modellens parametre er optimeret til at kunne forklare kvadratmeterprisen på de ejendomme, som indgår i dette. Valideringssættet er en mindre andel, der anvendes under træningen til løbende at holde øje med modellens præstation på uset data, eksempelvis for at holde øje med om modellen overfittes (Moolavil, 2019). Testsættet er en andel af datasættet, som modellens præstation vurderes ud fra. Det vil ligeledes være på baggrund af testsættet, at nærværende projekts resultater evalueres i afsnit 5.

Figur 12 - Opdeling af datagrundlag i træning, validering og testning



¹² Standardiserede skala betyder at variablen fratækkes middelværdien og divideres med standardafvigelsen, hvilke sikrer en tilnærmedesvis standard normalfordeling (Moolavil, 2019).

Som beskrevet i afsnit 4 er der et utal af måder, hvorpå strukturen af ANN-modeller kan konstrueres og justeres, herunder antal epochs, læringsraten, dropout, antal skjulte lag og neuroner. Der eksisterer ikke nogen korrekt måde at konstruere ANN-modeller på, da de afhænger af præstationen. Det tager samtidig særdeles lang tid at træne modellerne, hvorfor afprøvning af marginale ændringer er tidskrævende og derfor ikke muligt (Moolayil, 2019). Modellerne i nærværende projekt er derfor opbygget med afsæt i den anbefalede fremgangsmåde præsenteret i Moolayil (2019). Denne fremgangsmetode kan beskrives som en *trial-and-error tilgang*, hvor kompleksiteten gradvist forøges indtil den bedste træfsikkerhed opnås. Moolayil (2019) anbefaler at begynde med ét lag samt mellem 100 til 600 neuroner og gradvist øge antallet af neuroner og lag. Hertil forslås at øge antallet af neuroner ved at gange med to eller halvanden (Moolayil, 2019). Ligeledes anbefales at Eventuelle øvrige lag tilføjes med det samme eller et lavere antal neuroner end første lag. Derudover anbefaler Moolayil (2019) en læringsrate i omegnen af 0.001, hvilket har været udgangspunktet for nærværende projekts modeller. Læringsraten justeres på baggrund af evalueringen af modellen. Valget om antal epochs er ikke eksplisit truffet, da nærværende projekt anvender en sofistikeret metode kaldt *callbacks*. Callbacks tager et vilkårligt, højt antal epochs, et stopkriterie og gemmer de parametre, som opnår den mindste afvigelse baseret på valideringssættet. Det vil sige, at modellen trænes indtil, at tabsfunktionen ikke længere falder i et bestemt antal epochs, hvorefter parametrene, der resulterer i bedste performance, gendannes (Moolayil, 2019). I projektet er stopkriteriet 50 runder, hvorfor træningen stoppes, såfremt modellerne ikke forbedrer træfsikkerheden i 50 runder.

I forbindelse med konstruktionen af nærværende projekts modeller, vendes der gentagende gange tilbage til datagrundlaget, såfremt resultaterne findes utilfredsstillende. Her foretages justeringer i variablene, der indgår i de enkelte modeller. I forbindelse hermed anvendes den simple korrelation mellem de numeriske variable og kvadratmeterprisen, hvor en rekursiv eliminering af lavt-korrelerede variable udføres, hvorefter det afprøves om modellernes præstation forbedres. Korrelationen mellem de numeriske variable og kvadratmeterprisen fremgår af projektets appendiks 9.6. Ydermere elimineres og afprøves de kategoriske variable skiftevis. De simple korrelationer og den rekursive eliminering resulterer i, at elimineringen af de numeriske variable ikke forbedrer modellernes præstation. For de kategoriske variable findes, at toilet- og badeværelse reducerede modellernes træfsikkerhed. Derfor fjernes disse fra alle modeller. De endelige udformning af projektets tre modeller fremgår af nedenstående tabel 7.

Tabel 7 - Strukturen af projektets opbyggede neurale netværk for hver ejendomstype

Model for	Parcelhuse	Rækkehuse	Ejerlejligheder
Antal neuroner i 1. skjulte lag	512	256	384
Dropout lag	0.1	0.1	0.2
Antal neuroner i 2. skjulte lag	256	16	128
Læringsrate	0.0005	0.0005	0.0006
Antal variable som input	197	197	183
Antal trænede parametre	232 961	54 817	120 065

Annotering: Tabellen viser arkitekturen af projektets opbyggede modeller, samt valget af hyperparametre, der resulterede i den højeste træfsikkerhed.

Kilde: Egen tilskrivning

Ovenstående gennemgang fremhæver, at opbygningen af nærværende projekts modeller er en gentagende proces, hvor et utal af variationer og kombinationer for hver ejendomstype afprøves. Givet projektets tilgængelig computerkraft er en utømmelig afprøvning af enhver kombination af data og justerbar parametre ikke mulig, da det er en særdeles tidskrævende opgave at træne ANN. Der er hertil afprøvet et utal af kombinationer og justeret trinvis efter anbefalingerne præsenteret i Moolavil (2019).

5 Analyse og resultater

Kommende afsnit gennemgår indledningsvist træfsikkerhederne ved projektets opbyggede modeller og sammenligner disse med Engbergudvalgets resultater. Efterfølgende samles de tre modellers træfsikkerhed for at skabe én isoleret forståelse for projektets træfsikkerhed, herunder i hvilke tilfælde projektets modeller er mere eller mindre træfsikker samt årsagerne hertil. Slutteligt illustreres, hvordan individuelle ejendommes vurdering kan forklares med afsæt i SHAP-værdier.

5.1 Evaluering af projektets modeller og sammenligning med Engbergudvalget

Evalueringen af projektets modeller tager udgangspunkt i evaluatingsparametrene beskrevet i afsnit 4.1.5. Projektets resultater sammenlignes med Engbergudvalgets på baggrund af de fremlagte resultater af Skatteministeriet (2014). Generelt er sammenligningen mellem projektet og Engbergudvalgets træfsikkerhed begrænset til de aspekter, som Engbergudvalget præsenterer i deres udlæg. Dette indebærer en sammenligning af træfsikkerheden på tværs af prisklasser og geografisk placering. Når træfsikkerheden sammenlignes efter geografisk placering, anvendes kommunegrupper, der illustreres i projektets appendiks 9.7. Årsagen til dette er, at Engbergudvalget blot præsenterer træfsikkerheden for et udsnit af danske kommuner, hvorfor disse er grupperet for at

skabe større sammenligningsgrundlag. Grupperingen beror på den anvendte opdeling i Hansen og Iversen (2023).

I sammenligningen med Engbergudvalget findes store forskelle i antallet af evaluerede ejendomme, hvilket udgør et vigtigt forbehold. Engbergudvalget evaluerer træfsikkerheden af deres opstillede modeller på i alt 42.759 ejendomme, mens nærværende projekt til sammenligning evaluerer på i alt 140.079 ejendomme. Et større antal evaluerede ejendomme vil af naturlige årsager medføre en større variation, men vil samtidig afspejle en mere realistisk træfsikkerhed ved modellerne. Forbeholdet for sammenligningen diskuteres i afsnit 6.1.

5.1.1 Evaluering af projektets model for rækkehuse

I nedenstående tabel 8 fremgår evalueringsparametrene for nærværende projekts model for rækkehuse sammenlignet med Engbergudvalgets rækkehushusmodel.

Tabel 8 - Rækkehuse: sammenligning af træfsikkerhed

	MAE	PM20	Antal evaluerede rækkehuse
Projektets model	314 517 kr.	83.2 pct.	16 821
Engbergudvalget	223 000 kr.	81.0 pct.	1 913

Annotering: Tabellen viser evalueringsparameterne for projektets og Engbergudvalgets model for rækkehuse.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Tabellen illustrerer, at projektets model for rækkehuse i gennemsnit afviger med 314.517 kr. på tværs af de 16.821 evaluerede rækkehuse. I modsætning hertil afviger Engbergudvalgets model for rækkehuse i gennemsnit med 223.000 kr., baseret på de 1.913 evaluerede rækkehuse. Det vil sige, at nærværende projekts model i gennemsnit afviger med omtrent 90.000 kr. mere end Engbergudvalgets. MAE kan jævnfør afsnit 4.1.5.2 være påvirket af store afvigelser, hvorfor projektets model ikke nødvendigvis er mindre akkurat end Engbergudvalgets. De store afvigelser kan opstå i forbindelse med den store forskel i antallet af evaluerede ejendomme, der for projektets vedkommende er næsten ni gange større end Engbergudvalgets. På trods af dette, vil en større andel af rækkehusene være vurderet inden for den accepteret fejlmargin ved PM20. Træfsikkerheden af projektets model er 83,2 pct. ved PM20, hvorimod Engbergudvalgets træfsikkerhed er 81,0 pct. Dette betyder, at projektets model vurderer 2,1 pct. flere rækkehuse inden for den accepterede fejlmargin.

Både projektets og Engbergudvalgets model har en større tendens til at overvurdere ejendomme end at undervurdere dem. Andelen af over- og undervurderede ejendomme fremgår af nedenstående tabel 9.

Tabel 9 - Rækkehuse: over- og undervurderede

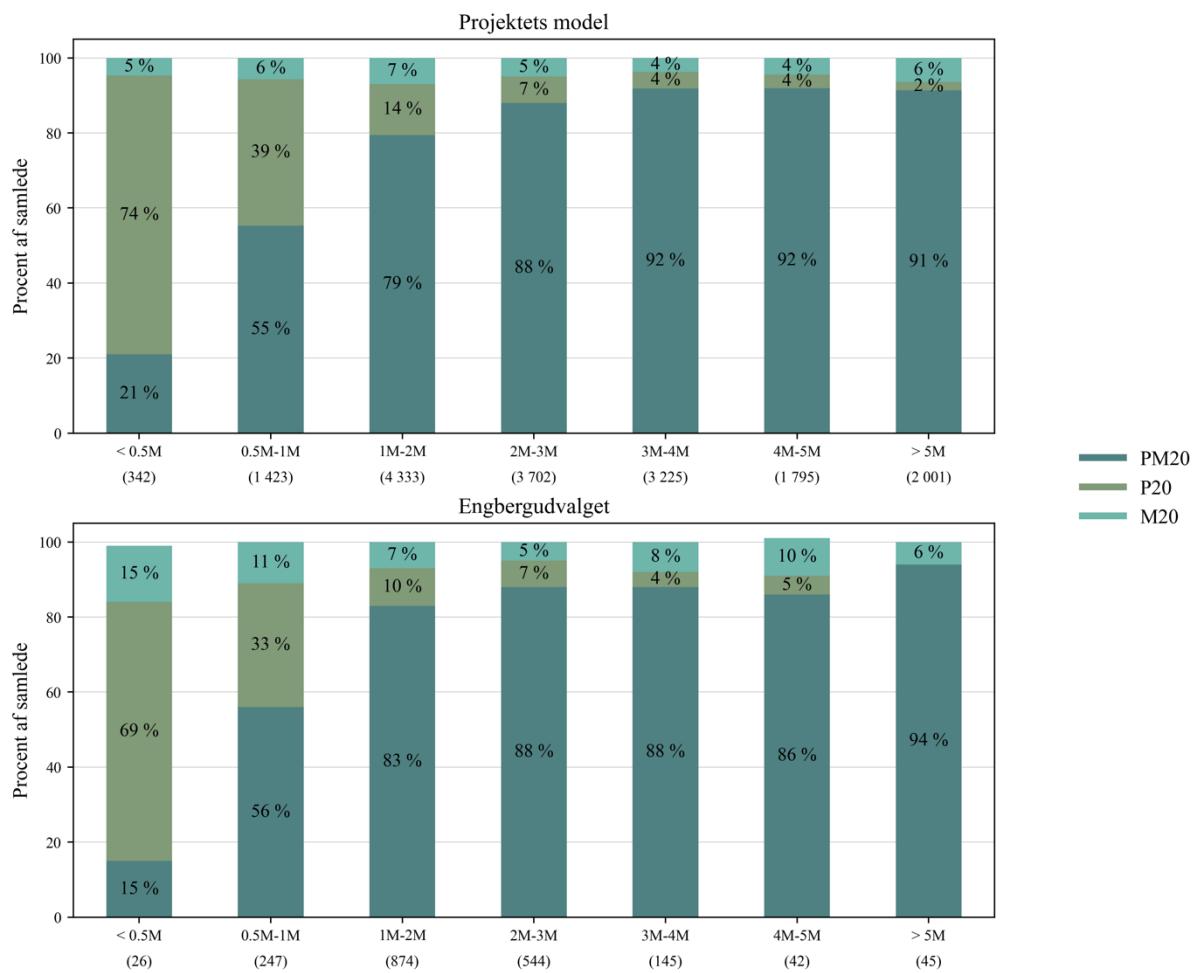
	PM20	P20	M20
Projektets model	83.2 pct.	11.4 pct.	5.4 pct.
Engbergudvalget	81.0 pct.	12.1 pct.	7.0 pct.

Annotering: Tabellen viser andelen af over- (P20) og undervurderede (M20) ejendomme.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

At projektets model har højere træfsikkerhed end Engbergudvalgets beror på en reduceret andel af både over- og undervurderede ejendomme. Forbedringen er størst ved andelen af undervurderede ejendomme, hvor projektets model undervurderer 1,6 pct. færre ejendomme end Engbergudvalget, mens andelen af overvurderede ejendomme er 0,7 pct. lavere. Andelen af overvurderede ejendomme er hovedsageligt ejendomme solgt for lavere beløb, hvilket fremgår af nedenstående figur 13.

Figur 13 - Rækkehuse: træfsikkerhed på tværs af prisklasser



Annotering: Figuren viser træfsikkerheden for projektets og Engbergudvalgets model for rækkehuse på tværs af forskellige prisklasser af de faktiske handelspriser. PM20 fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver prisklasse fremgår i parentes under.

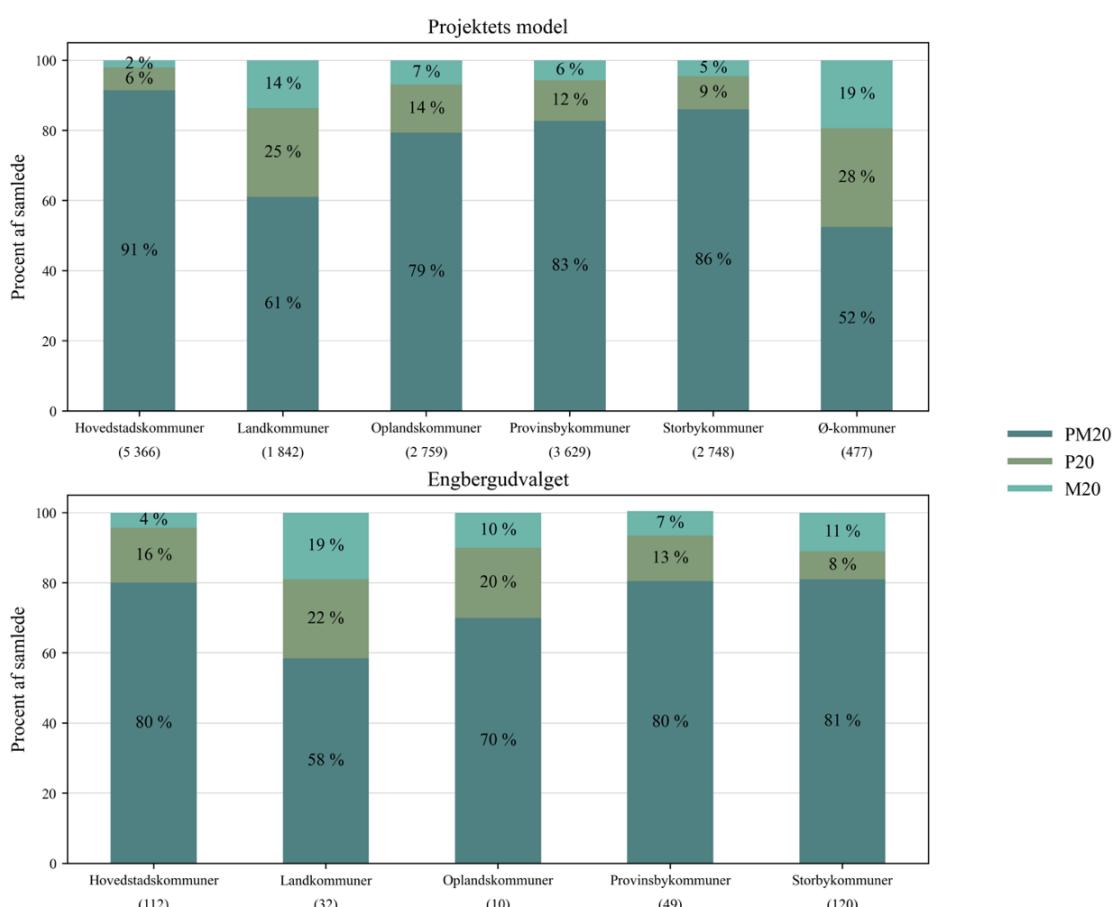
Bemærkninger: PM20 verdier summerer ikke nødvendigvis til 100, som følge af afrunding. Opdelingen af priser er højre-inkluderet.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Figuren viser, at både projektets og Engbergudvalgets træfsikkerhed generelt stiger i takt med prisniveauet, hvor en større andel af ejendomme vurderes inden for PM20 ved højere handelspriser. Samtidig illustreres det, at både projektets og Engbergudvalgets model tenderer til at overvurdere ejendomme solgt for lavere beløb. For de billigste ejendomme, solgt under 0,5 mio. kr., overvurderer projektets model 74 pct. af alle rækkehuse, mens Engbergudvalgets model overvurderer 69 pct. Alligevel har projektets model en højere træfsikkerhed for denne gruppe, hvor 21 pct. af de billigste ejendomme er vurderet inden for PM20, hvilket er 6 pct. flere end Engbergudvalget. Forbedringen er derfor et resultat af en lavere andel af undervurderede ejendomme.

På tværs af prisklasser har projektets model en tilsvarende eller lavere andel af undervurderede ejendomme. Dette bevirker, at projektets model er mere træfsikker for ejendomme solgt under 0,5 mio. kr. eller mellem 3 og 5 mio. kr. For disse prisklasser præsterer projektets model bedre, da en lavere andel af ejendomme undervurderes. For de øvrige prisklasser fremstår projektets model mindre træfsikker end Engbergudvalgets, forklaret ved en større andel af overvurderet rækkehuse. En del af forklaringen herfor kan skyldes det markant større antal evaluerede ejendomme, eller at en større andel af projektets grundlag ikke er frie-salg. Dette aspekt blyses i projektets diskussion. Desuden kan resultatet afspejle, at omrent 76 pct. af ejendommene handlet mellem 0,5 og 2 mio. kr. i projektets testdata er placeret i Land-, Provins- eller Oplandskommuner, der i nedenstående figur 14 ligeledes er de kommunegrupper, hvor projektet har lavere træfsikkerhed. Sammenligningen med Engbergudvalget på tværs af kommunegrupper fremgår af nedenstående figur 14.

Figur 14 - Rækkehuse: træfsikkerhed på tværs af kommunegrupper



Annotering: Figuren viser afvigelser for projektets og Engbergudvalgets model for rækkehuse på tværs af kommunegrupper. Træfsikkerheden fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver kommunegruppe fremgår i parentes under.

Bemærkning: Procenter summerer ikke nødvendigvis til 100. I Engbergudvalget indgår ingen Ø-kommuner (Skatteministeriet, 2014).

Kilde: Egen tilskrivning og Skatteministeriet (2014).

Af figur 14 fremgår det, at projektets model generelt har en højere træfsikkerhed på tværs at de forskellige kommunegrupper, der er højest for Hovedstadsommuner. Her er 91 pct. af ejendommene vurderet inden for PM20, hvilket er 11 pct. højere end Engbergudvalget. For de øvrige kommunegrupper, foruden Ø-kommuner, præsterer projektets model ligeledes mellem 3 til 9 pct. bedre end Engbergudvalgets baseret på PM20. Årsagen til den højere træfsikkerhed for Hovedstads- og oplandsommuner kan i overvejende grad findes ved en betydelig reducering i antallet af overvurderede ejendomme, der for projektets model er henholdsvis 10 og 6 pct. lavere end Engbergudvalgets. For Land- og Storbykommuner kan den forbedrede træfsikkerhed tilskrives en reduceret tendens til at undervurdere rækkehuse, der er henholdsvis 5 og 6 pct. lavere sammenlignet med Engbergudvalget.

For projektets model er ligeledes en tendens til lavere træfsikkerhed i yderområderne. Yderområderne dækker over en stor del af Land- og Ø-kommunerne, hvilket ligeledes er de kommunegrupper, hvor projektets model opnår den laveste træfsikkerhed. Dette illustrerer, at projektets model har en lavere træfsikkerhed i områder, hvor der, jævnfør figur 9, er det laveste antal handlede ejendomme. Samme tendens fremgår af Engbergudvalgets resultater, hvor træfsikkerheden for Landkommunerne er tilsvarende lavere sammenlignet med de øvrige grupperinger. Træfsikkerheden for projektets model er dog højere for Landkommuner end udvalgets, hvortil projektets model i større omfang kan vurdere rækkehuse i yderområderne.

Samlet set er projektets træfsikkerhed for rækkehuse 2,1 pct. højere ved PM20 sammenlignet med Engbergudvalgets. Dette er på trods af, at projektets MAE er omrent 90.000 kr. højere. Fordelt på prisklasser har er projektets model mere træfsikker end Engbergudvalgets for de billigste ejendomme og for ejendomme solgt mellem 3 og 5 mio. kr. Projektets model er mere træfsikker på alle kommunegrupper, og tenderer ligeledes til at være mere træfsikker for Hovedstads- og Storbykommuner, som tilmed er de områder med flest handlede rækkehuse.

5.1.2 Evaluering af projektets model for parcelhuse

Af nedenstående tabel 10 fremgår evalueringssparametrene af projektets model for parcelhuse sammenlignet med Engbergudvalgets.

Tabel 10 - Parcelhuse: sammenligning af træfsikkerhed

	MAE	PM20	Antal evaluerede parcelhuse
Projektets model	426 165 kr.	65.0 pct.	95 872
Engbergudvalget	298 000 kr.	67.5 pct.	7 481

Annotering: Tabellen viser evalueringssparameterne for projektets og Engbergudvalgets model for parcelhuse.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Den mest almindelige ejendomstype i Danmark er parcelhuse (Hansen & Iversen, 2023), hvorfor denne udgør den største andel projektets datagrundlag. Dette medfører at trænings- og testdatasættene er betydeligt større end for de øvrige ejendomstyper, hvilket skaber grundlag for evaluering af modellen på næsten 96.000 individuelle ejendomme. Af disse vurderer projektets model 65 pct. af ejendommene inden for PM20, hvilket er betydeligt lavere end modellen for rækkehuse. Det er samtidig 2,5 pct. lavere end Engbergudvalgets model, der blot evaluerer omrent 7.500 parcelhuse. Endvidere har projektets model en gennemsnitlig afvigelse på omrent 426 tusinde kr., hvilket er 128 tusinde mere end Engbergudvalgets model. Årsagen til den højere MAE skyldes sandsynligvis, ligesom modellen for rækkehuse, et større antal evaluerede ejendomme.

En overvægt af projektets afigelser beror på undervurderede ejendomme, der udgør 18,4 pct. af parcelhusene, mens de resterende 16,6 pct. af disse overvurderes. Andelene af over- og undervurderede parcelhuse er derfor forskudt sammenlignet med Engbergudvalget, da Engbergudvalgets model overvurderer 20,2 pct. af alle parcelhuse, mens 12,3 pct. undervurderes. Andelen af over- og undervurderede ejendomme fremgår af nedenstående tabel 11.

Tabel 11 - Parcelhuse: over- og undervurderede

	PM20	P20	M20
Projektets model	65.0 pct.	16.6 pct.	18.4 pct.
Engbergudvalget	67.5 pct.	20.2 pct.	12.3 pct.

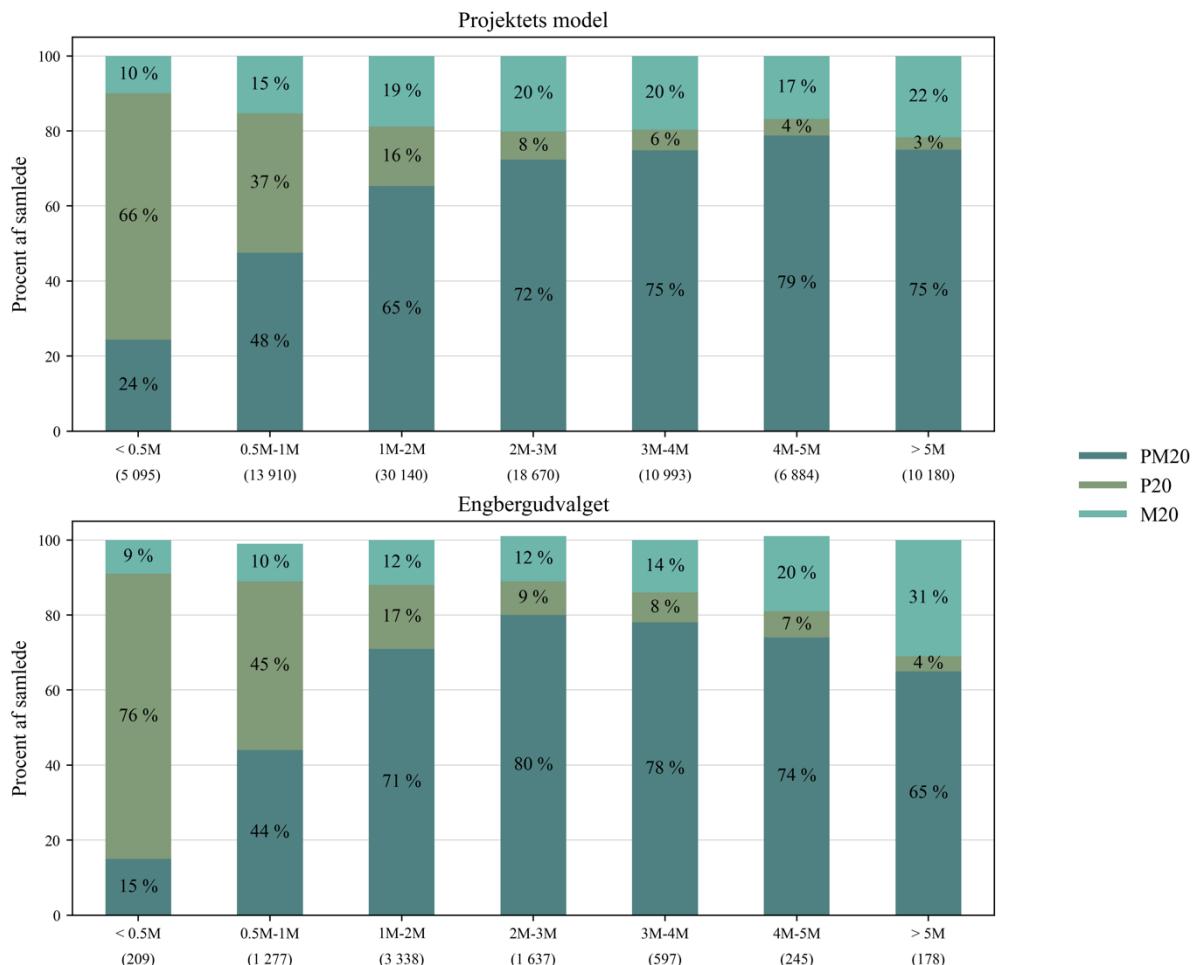
Annotering: Tabellen viser andelen af over- (P20) og undervurderede (M20) parcelhuse.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Af tabellen fremgår det, at projektets model overvurderer 3,6 pct. færre parcelhuse end Engbergudvalget, men samtidig undervurderer 6,1 pct. flere parcelhuse. Forskellen i den overordnede træfsikkerhed tilskrives derfor, at projektets model i højere grad undervurderer parcelhuse på trods af, at projektets model overvurderer færre parcelhuse.

Tilsvarende til modellen for rækkehuse, er det ligeledes de lavere prisklasser, der har lavest træfsikkerhed. Træfsikkerheden på tværs af prisklasser, for projektets og Engbergudvalgets model for parcelhuse, fremgår af nedenstående figur 15.

Figur 15 - Parcelhuse: træfsikkerhed på tværs af prisklasser



Annotering: Figuren viser afvigelser for projektets og Engbergudvalgets model for parcelhuse på tværs af forskellige prisklasser af de faktiske handelspriser. PM20 værdierne fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver prisklasse fremgår i parentes under.

Bemærkninger: PM20 værdier summerer ikke nødvendigvis til 100, som følge af afrunding. Opdelingen af priser er højre-inkluderet.

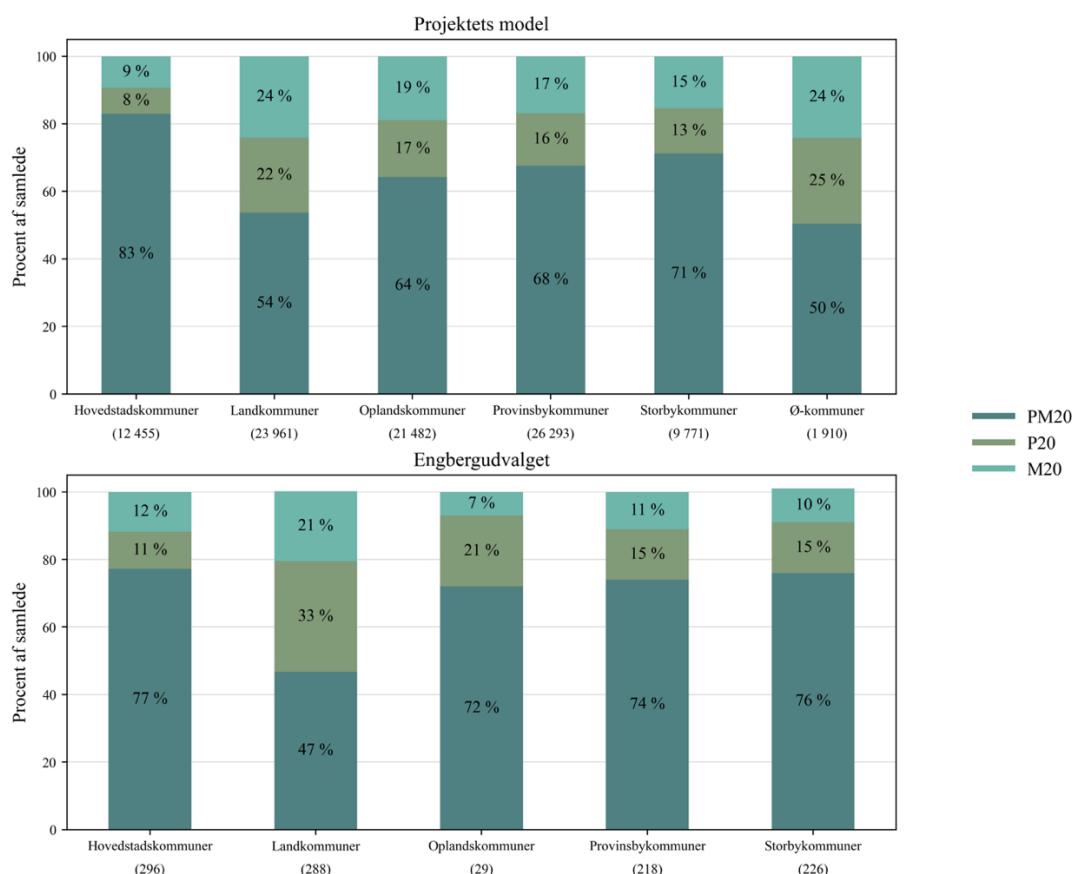
Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014, s.120)

Af figur 15 fremgår det at projektets model er mere træfsikker for parcelhuse solgt under 1 mio. kr. eller over 4 mio. kr. For parcelhuse solgt for mellem 1 mio. kr. og 4 mio. kr. fremstår Engbergudvalget model mest træfsikker. At projektet har en overordnet lavere træfsikkerhed for parcelhuse, skyldes derfor, at Engbergudvalgets træfsikkerhed er højest for de mest typiske prisklasser. For parcelhuse solgt under 1 mio. kr. kan projektets højere træfsikkerhed tilskrives en lavere andel af overvurderede ejendomme, mens projektets højere træfsikkerhed for parcelhuse solgt over 4 mio. kr. hovedsageligt

skyldes en lavere andel af undervurderede parcelhuse. For parcelhuse solgt mellem 1 mio. kr. og 4 mio. kr. tilskrives projektets lavere træfsikkerhed hovedsageligt en større andel af undervurderede ejendomme. For disse prisklasser har projektets model færre overvurderede ejendomme, men en betydeligt større andel undervurderede ejendomme, hvilket medfører projektets lavere samlet træfsikkerhed. Projektets model fremstår derfor mere træfsikker i begge yderpunkter af prisintervallet, mens den overordnet lavere træfsikkerhed skyldes, at Engbergudvalgets model er mere træfsikker for de typiske prisklasser for parcelhuse.

For projektets model for parcelhuse forekommer endvidere en geografisk variation i træfsikkerheden, hvor projektets model er mest træfsikker i Hovedstads- og Landkommunerne. Den geografiske variation på tværs af kommunegrupperne fremgår af nedenstående figur 16.

Figur 16 - Parcelhuse: træfsikkerhed på tværs af kommunegrupper



Annotering: Figuren viser afvigelser for projektets og Engbergudvalgets model for parcelhuse på tværs af kommunegrupper. PM20 fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver kommunegruppe fremgår i parentes under.

Bemærkning: Procenter summerer ikke nødvendigvis til 100, som følge af afrunding. I Engbergudvalgets indgår ingen Ø-kommuner (Skatteministeriet, 2014).

Kilde: Egen tilskrivning og Skatteministeriet (2014).

For Hovedstads- og Landkommuner er projektets model henholdsvis 6 og 7 pct. mere træfsikker sammenlignet med Engbergudvalgets, hvilket for Landkommuner beror på en reduceret andel af overvurderede ejendomme, mens det for Hovedstadskommuner beror på en kombineret forbedring af over- og undervurderede ejendomme. For de øvrige kommunegrupper er projektets model mindre træfsikker end Engbergudvalget, hvilket hovedsageligt skyldes en større andel undervurderet ejendomme. Fordi projektets model er mere træfsikker i Hovedstads- og Landkommuner betyder det, at projektets model er bedre til at vurdere ejendomme, der er placeret centralt eller i yderområder. Projektets model vurderer derfor ikke majoriteten af ejendommene, der er placeret i Storby-, Provins- eller Oplandskommunerne.

Overordnet set er projektets model for parcelhuse 2,5 pct. mindre træfsikker sammenlignet med Engbergudvalgets. Samtidig afviger projektets model i gennemsnit med 128.000 kr. mere end Engbergudvalgets, der dog kan tilskrives store afvigelser i datasættet. Projektets model fremstår dog mere træfsikker for de billigste og dyreste parcelhuse, og er samtidig mere træfsikker for Hovedstads- og Landkommuner sammenlignet med Engbergudvalget. Projektets model kan derfor siges at være mindre træfsikker for de hyppigste prisklasser og områder, hvilket forårsager den samlet lavere træfsikkerhed.

5.1.3 Evaluering af projektets model for ejerlejligheder

Både i Engbergudvalgets udlæg (Skatteministeriet, 2014) og i nærværende projekt er modellerne for ejerlejligheder dem, der opnår den højeste træfsikkerhed sammenlignet med modellerne for række- og parcelhuse. Træfsikkerhederne for ejerlejligheder fremgår af nedenstående tabel 12.

Tabel 12 - Ejjerlejligheder: sammenligning af træfsikkerhed

	MAE	PM20	Antal evaluerede ejerlejligheder
Projektets model	335 281 kr.	87,6 pct.	27 386
Engbergudvalget	192 000 kr.	83,4 pct.	3 770

Annotering: Tabellen viser evalueringssparameterne for projektets og Engbergudvalgets model for ejerlejligheder.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Af tabellen fremgår det, at træfsikkerheden af projektets model for ejerlejligheder er 87,6 pct., hvilket er 4,2 pct. højere sammenlignet med Engbergudvalgets model, der har en træfsikkerhed på 83,4 pct. ved PM20. Projektets model for ejerlejligheder har dog, tilsvarende projektets øvrige modeller, en betydeligt højere MAE end Engbergudvalget på omrent 143 tusinde kr. Som nævnt for de øvrige

ejendomstyper beror den store forskel i MAE sandsynligvis på forskellen i antallet af ejendomme i testdatasættet, der for projektet indebærer omrent 23.500 flere ejerlejligheder end Engbergudvalget.

Afvigelserne af projektets model for ejerlejligheder bygger, ligesom modellen for rækkehuse, på en større andel af overvurderede ejendomme. Andelen af over- og undervurderede ejendomme fremgår af nedenstående tabel 13.

Tabel 13 - Ejjerlejligheder: over- og undervurderede

	PM20	P20	M20
Projektets model	87.6 pct.	8.4 pct.	4.0 pct.
Engbergudvalget	83.4 pct.	11.2 pct.	5.3 pct.

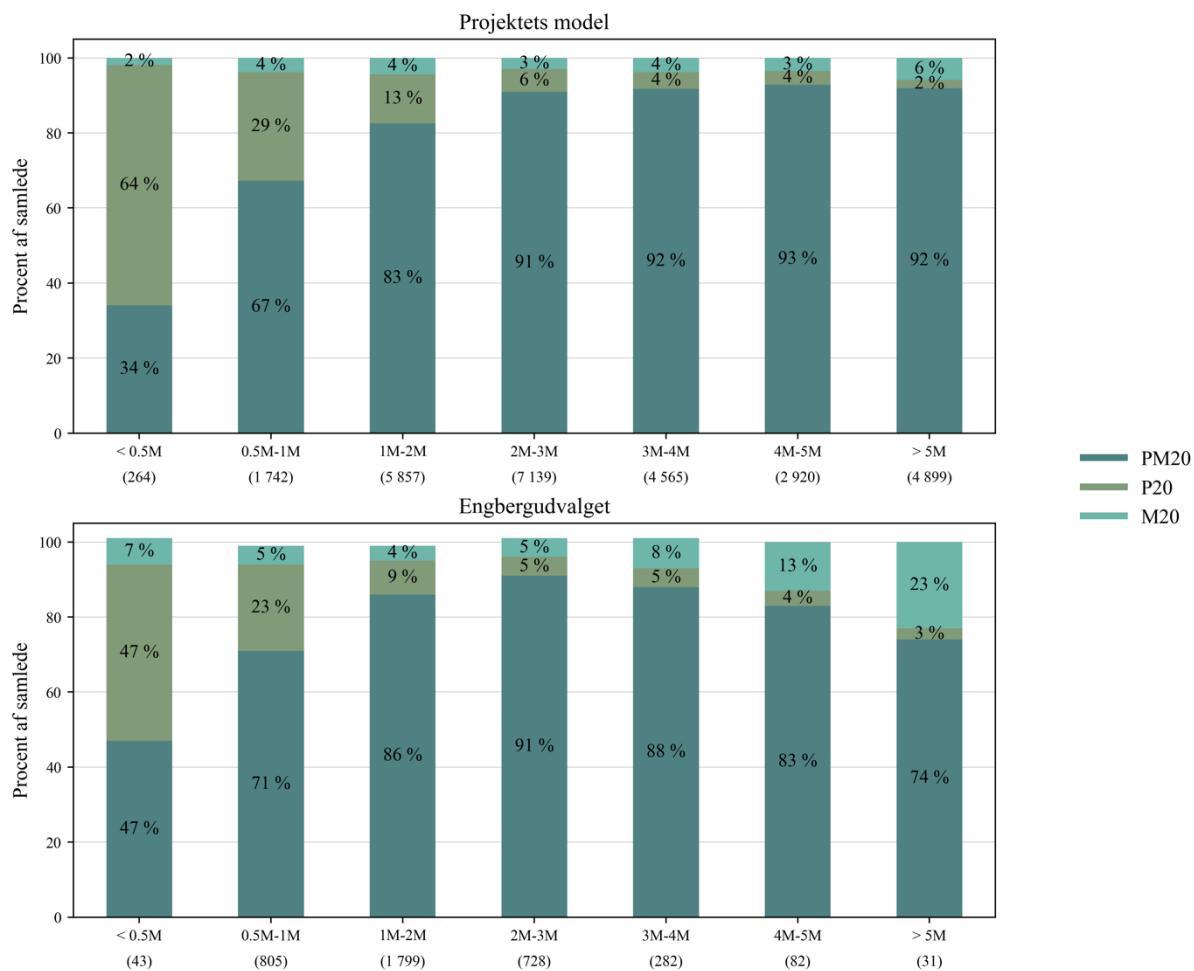
Annotering: Tabellen viser andelen af over- (P20) og undervurderede (M20) ejendomme.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Af tabel 13 fremgår det, at den forbedrede træfsikkerhed for projektets model, beror på en reduceret andel af både over- og undervurderede ejendomme. Projektets øget træfsikkerhed forekommer hovedsageligt som følge af en mindre andel af overvurderede ejendomme, der for projektets model er 2,8 pct. lavere end Engbergudvalgets 11.2 pct, mens projektets andel af undervurderede ejendomme er 1,3 pct. lavere end Engbergudvalgets 5.3 pct.

På trods af at projektets model har en reduceret tendens til at overvurdere ejerlejligheder, forekommer denne forbedring hovedsageligt som følge af en lavere andel af overvurderede dyre ejerlejligheder. Fordelingen af projektets og Engbergudvalgets træfsikkerhed på tværs af prisklasser fremgår af nedenstående figur 17.

Figur 17 - Ejelerligheder: træfsikkerhed på tværs af prisklasser



Annotering: Figuren viser afvigelser for projektets og Engbergudvalgets model for ejelerligheder på tværs af forskellige prisklasser af de faktiske handelspriser. PM20 fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver prisklasse fremgår i parentes under.

Bemærkninger: PM20 værdier summerer ikke nødvendigvis til 100, som følge af afrunding. Opdelingen af priser er højre-inkluderet.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014, s.120)

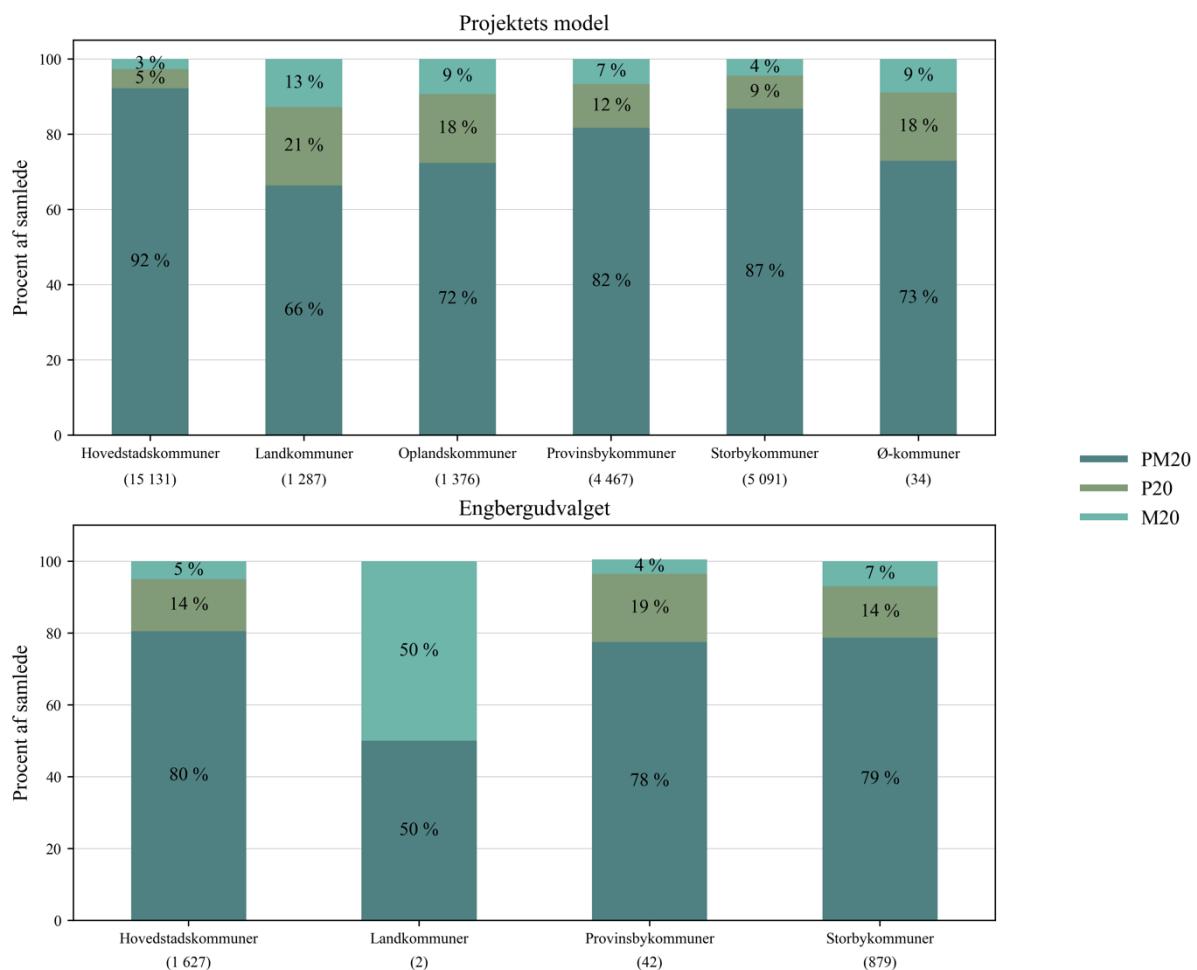
Af figur 17 fremgår det, at projektets træfsikkerhed ved PM20 generelt er højere for ejelerligheder solgt i den dyre ende af det opstillede prisinterval, mens Engbergudvalgets træfsikkerhed er højere for billigere ejelerligheder. For ejelerligheder solgt under 2 mio. kr. vurderer Engbergudvalget i gennemsnit 68 pct. af ejelerlighederne inden for PM20, mens projektets model i gennemsnit vurderer 61 pct. Årsagen til projektets lavere træfsikkerhed for ejelerligheder solgt under 2 mio. kr. kan hovedsageligt findes ved den betydeligt større andel af overvurderede ejelerligheder, hvilket er på trods af, at projektet undervurderer en lavere andel af ejendommene.

For ejelerligheder solgt over 3 mio. kr. udviser projektets model en højere træfsikkerhed sammenlignet med Engbergudvalget. For disse vil projektets model i gennemsnit vurdere 92 pct.

inden for PM20, mens Engbergudvalget til sammenligning i gennemsnit vurderer 84 pct. inden for PM20. For disse ejerlejligheder bygger projektets højere træfsikkerhed hovedsageligt på en lavere andel af undervurderede ejendomme. I takt med at ejerlejligheder ofte sælges for høje beløb, og at projektets model er mere træfsikker for disse, betyder det ligeledes, at projektets model er mere træfsikker for de typiske handelspriser sammenlignet med Engbergudvalgets. Dette er hovedsageligt årsagen til, at projektets overordnede træfsikkerhed er højere end Engbergudvalgets.

Endvidere medfører dette, at projektets model for ejerlejligheder har en højere træfsikkerhed i kommunegrupper, der kendetegnes ved højere prisklasser. Dette fremgår af nedenstående figur 18 over træfsikkerheden på tværs af den geografiske placering.

Figur 18 - Ejelerlejligheder: træfsikkerhed på tværs af kommunegrupper



Annotering: Figuren viser afvigelser for projektets og Engbergudvalgets model for ejerlejligheder på tværs af kommunegrupper. PM20 værdierne fremgår af selve baren, mens antal observationer i hver kommunegruppe fremgår i parentes under.

Bemærkning: Procenter summerer ikke nødvendigvis til 100 som følge af afrunding. I Engbergudvalget indgår ingen Ø-kommuner, mens træfsikkerheden for Landkommuner er misvisende, grundet et lavt antal ejerlejligheder (Skatteministeriet, 2014).

Kilde: Egen tilskrivning og Skatteministeriet (2014).

Af figur 18 fremgår det, at projektets træfsikkerhed er størst i Hovedstads- og Storbykommunerne, hvilket tillige er de kommunegrupper, hvor størstedelen af ejerlejligheder er placeret. Sammenlignet med Engbergudvalget er træfsikkerheden i de to kommunegrupper henholdsvis 12 og 8 pct. højere ved PM20 i projektet. Forbedringen af træfsikkerheden beror i overvejende grad af en reduceret andel af overvurderede ejendomme, der er henholdsvis 9 og 5 pct. lavere end Engbergudvalgets andele.

Projektets model for ejerlejligheder har samme mønster som de øvrige modeller, hvor træfsikkerheden reduceres i takt med større distance til centrale områder. Træfsikkerheden blandt Storby- og Hovedstadskommunerne er betydeligt højere sammenlignet med Land-, Provins-, Oplands- og Ø-kommunerne, idet den gennemsnitlige træfsikkerhed er omtrent 73 pct. ved PM20 for sidstnævnte kommunegrupper. Det er svært at undersøge, hvorvidt Engbergudvalgets model for ejerlejligheder har en tilsvarende tendens, da Engbergudvalget blot inkluderer to ejerlejligheder placeret Landkommuner og ligeledes ikke inkluderer ejerlejligheder i Ø-kommunerne. For Provinskommunerne er projektets træfsikkerhed størst ved 82 pct. indenfor PM20, mens Engbergudvalgets model vurderer 78 pct. indenfor PM20. Dette betyder, at projektets model har en 4 pct. højere træfsikkerhed for ejerlejligheder placeret længere væk fra tætbefolkede områder. Forbedringen heraf beror hovedsageligt på en reduceret andel af overvurderede ejerlejligheder, der for projektets model er 7 pct. lavere. Projektets model har dog en større tendens til at undervurdere ejendomme i Provinskommunerne, hvor 3 pct. flere ejendomme undervurderes.

5.1.4 Opsummering på sammenligning med Engbergudvalget

I forhold til Engbergudvalgets resultater har projektets fremgangsmåde og anvendelse af ANN-modeller medført en øget træfsikkerhed blandt rækkehuse og ejerlejligheder, men ikke for parcelhuse. Den overordnede sammenligning med Engbergudvalget fremgår af nedenstående tabel 14.

Tabel 14 - Oversigt over træfsikkerhed efter ejendomstype

	Rækkehuse	Parcelhuse	Ejerlejligheder	Antal
Projektets træfsikkerhed	83.2 pct. (314 517 kr.)	65.0 pct. (426 165 kr.)	87.6 pct. (335 281 kr.)	140 079
Engbergudvalgets træfsikkerhed	81.0 pct. (223 000 kr.)	67.5 pct. (298 000 kr.)	83.4 pct. (192 000 kr.)	13 164
Projektets forskel i PM20	2.2 pct.	- 2.5 pct.	4.2 pct.	

Annotering: I tabellen fremgår en opsummering af projektets træfsikkerhed ved PM20 (øverst) og MAE (nederst i parentes) sammenlignet med Engbergudvalgets, for de forskellige ejendomstyper

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014).

Projektet har en forbedret træfsikkerhed ved PM20 for rækkehuse og ejerlejligheder, hvor henholdsvis 2,2 pct. og 4,2 pct. flere ejendomme vurderes inden for PM20 sammenlignet med Engbergudvalget. For parcelhuse har projektets metode ikke medført en øget træfsikkerhed, hvor det findes, at 2,5 pct. færre parcelhuse vurderes inden for PM20 sammenlignet med Engbergudvalgets. Det betyder derfor, at projektets model og metode har ført til en samlet træfsikkerhed, der er 3,9 pct. højere end Engbergudvalgets. Omvendt afviger projektets vurderinger i gennemsnit med mere end Engbergudvalgets, hvor det er fundet, at MAE for alle ejendomstyper er betydeligt højere for projektets modeller. Dette tilskrives dog den store forskel i antallet af observationer, hvor MAE kan være påvirket af store afvigelser.

Endvidere er det fundet, at projektets modeller generelt er mere træfsikre i begge ender af de opstillede prisintervaller. Dette gælder for projektets modeller for parcel- og rækkehuse, men ikke ejerlejligheder. For ejerlejligheder er projektets model mere træfsikker for dyre ejendomme, hvilket tillige er de mere typiske prisklasser for denne ejendomstype. Opsummering af træfsikkerheden for de opstillede prisintervaller, fremgår af nedenstående tabel 15.

Tabel 15 - Oversigt over træfsikkerhed for prisklasser efter ejendomstype

Ejendomstype	Træfsikkerhed på prisklasser						
	Under 0.5	0.5 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	Over 5
Rækkehuse	Højere	Lavere	Lavere	Samme	Højere	Højere	Lavere
Parcelhuse	Højere	Højere	Lavere	Lavere	Højere	Højere	Højere
Ejerlejligheder	Lavere	Lavere	Lavere	Samme	Højere	Højere	Højere

Annotering: Tabellen viser om projektets træfsikkerhed ved PM20 er højere (lavere) sammenlignet med Engbergudvalget, opdelt efter prisklasser.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014).

Derudover fremstår projektets modeller generelt mere træfsikker, når ejendommene inddeltes i kommunegrupper, hvor projektets model for rækkehuse og ejerlejligheder er mere træfsikker end Engbergudvalget for alle kommunegrupper. For parcelhuse er projektets model kun mere træfsikker i Hovedstads- og Landkommuner. En opsummering af projektets sammenligning af træfsikkerhed med Engbergudvalgets, på tværs af kommunegrupper, fremgår af nedenstående tabel 16:

Tabel 16 - Oversigt over træfsikkerhed for kommunegrupper efter ejendomstype

Geografisk træfsikkerhed			
	Rækkehuse	Parcelhuse	Ejerlejligheder
Hovedstadskommuner	Højere	Højere	Højere
Landkommuner	Højere	Højere	Højere
Oplandskommuner	Højere	Lavere	Utilgængelig
Provinskommuner	Højere	Lavere	Højere
Storbykommuner	Højere	Lavere	Højere
Ø-kommuner	Utilgængelig	Utilgængelig	Utilgængelig

Annotering: Tabellen viser, om projektets træfsikkerhed ved PM20 er højere eller lavere sammenlignet med Engbergudvalgets på baggrund af kommunegrupper.

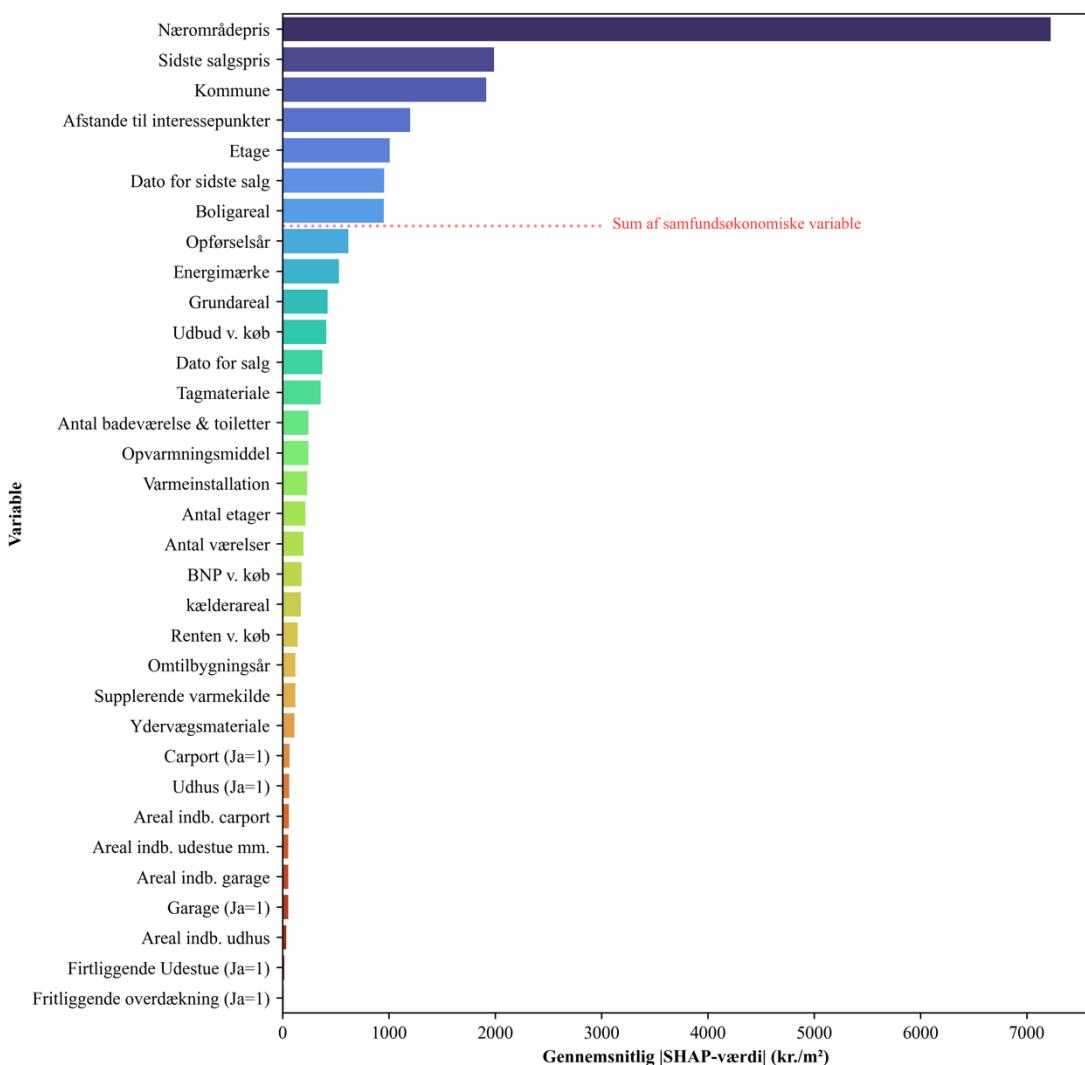
Kommunegrupper som ikke inkluderes af Engbergudvalget markeres som utilgængelig.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014).

5.2 Et samlet vurderingssystem

Kommende afsnit undersøger alene træfsikkerheden af projektets modeller med henblik på at skabe forståelse for projektets afvigelser. I denne forbindelse er det væsentligt at undersøge, hvilke variable, der størst indflydelse på modellernes vurderingerne. I nedenstående figur 19 anvendes SHAP-værdier til at illustrere vigtigheden af variablene for projektets modeller. Her beregnes de gennemsnitlige absolutte SHAP-værdier på tværs af alle ejendomstyper, hvorfor figuren viser, hvilke variable, der gennemsnitligt har størst indflydelse på modellernes vurderinger af kvadratmeterpriserne.

Figur 19 - Gennemsnitlige |SHAP-værdier|



Annotering: Figuren viser de gennemsnitlige absolutte SHAP-værdier på tværs af projektets modeller. SHAP-værdierne fortolkes som den gennemsnitlige absolute indflydelse på modellernes vurderinger af kvadratmeterprisen og opgøres derfor i kr./m².

Bemærkninger: Variablen *nærområdepris* dækker over alle variable tilknyttet nærområdeprisen, herunder maks. og min. afstand til referenceejendommen m.m. Variablen *afstand til interessepunkter* dækker over alle projektets distancemål og fremgår opdelt ved projektets appendiks 9.8. *Sum af samfundsekonomiske variable* dækker summen af BNP, rente og udbud.

Kilde: Egne beregninger.

Af figuren forekommer nærområdeprisen som den mest indflydelsesrige variabel på tværs af alle projektets opstillede modeller. Både Engbergudvalget (Skatteministeriet, 2014) samt Hansen og Iversen (2023) tillægger nærområdet stor betydning for vurderingen af den enkelte ejendom, hvilket ovenstående figur bekræfter. Samtidig observeres det af projektets appendiks 9.8, at nærområdeprisen betyder mindst for parcelhus, da den, som tidligere vist, afviger betydeligt mere sammenlignet med nærområdeprisen for de øvrige ejendomstyper. Tillige viser SHAP-værdierne, at den seneste

handelspris, samt tidspunktet herfor, har afgørende betydning for modellernes vurderinger. Det forekommer ikke overraskende, at både nærområdeprisen og seneste handelspris er blandt de mest prominente variable for projektets vurderinger, da de intuitivt danner udgangspunkt for vurderingen af en ejendom. Eftersom nærområdeprisen er den mest betydningsfulde variabel, kan projektets afvigelser i høj grad tilskrives denne, hvorfor næste afsnit 5.2.1 undersøger variablens relation til projektets træfsikkerhed.

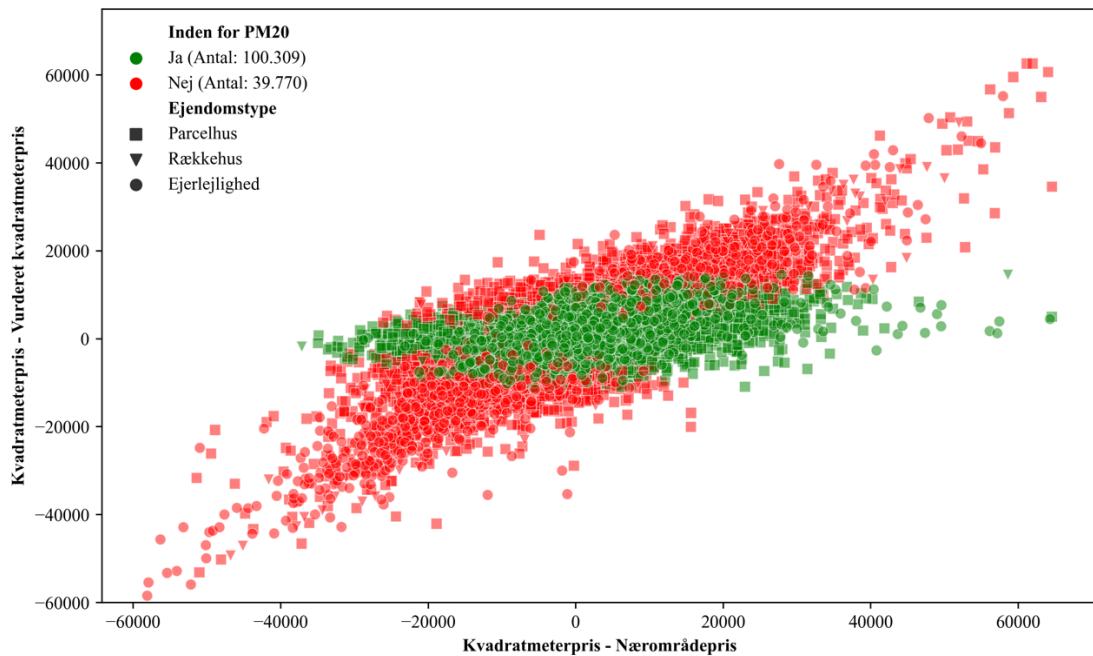
Af de samfundsøkonomiske variable fremgår det, at *udbuddet* har størst indflydelse på ejendomsvurderingerne, efterfulgt af *BNP* og sidst *renten*. Hertil bemærkes det, at variablene som enkeltstående ikke har særlig betydning for projektets vurderinger sammenlignet med eksempelvis geografiske karakteristika, nærområdeprisen eller seneste salgspris. Samles effekterne af de samfundsøkonomiske variable, udgør de en større indflydelse på vurderingerne relativt til flere fysiske karakteristika. Dette vidner om, at de overordnede økonomiske forudsætninger for en ejendomshandel, har en relevant indflydelse på projektets vurderinger, hvilket sætter spørgsmålstegn ved undladelsen af disse i det offentlige vurderingssystem, når projektet opnår en samlet højere træfsikkerhed. Denne pointe forbeholderes projektets diskussion.

5.2.1 Nærområdeprisens betydning for projektets resultater

Såfremt nærområdeprisen afviger betydeligt fra den faktiske handelspris og samtidig tillægges stor betydning i projektets modeller, kan dette medføre flere afvigelser i projektets vurderinger. Dette vil særlig forekomme i forbindelse med projektets vurderinger af parcelhuse, hvor projektets træfsikkerhed er lavere, baseret på PM20, relativt til de øvrige ejendomstyper og Engbergudvalgets tilsvarende model.

I nedenstående figur 20 fremgår henholdsvis de vurderede kvadratmeterpriser og nærområdeprisernes afvigelser fra de faktiske kvadratmeterpriser.

Figur 20 - Nærområdeprisens betydning for træfsikkerheden



Annotering: Figuren viser sammenhængen mellem nærområdeprisens og projektets modellers afvigelser fra den faktiske kvadratmeterpris for de tre ejendomstyper. Den vandrette akse er den faktiske kvadratmeterpris fratrukket nærområdets kvadratmeterpris, mens den lodrette akse er den faktiske kvadratmeterpris fratrukket modellernes vurderet kvadratmeterpris. Hver markering illustrerer én ejendom, mens farvekombinationen beskriver hvorvidt ejendommen er vurderet (af projektets modeller) inden for PM20 (grøn) eller ej (rød).

Kilde: Egne beregninger

Afvigelserne i projektets modeller følger i høj grad nærområdeprisen, hvorfor store afvigelser heri fører til store afvigelser af modellernes vurderinger. I tilfælde, hvor nærområdeprisen er højere end den faktiske handelspris, tenderer projektets modeller til at undervurdere ejendomme. Omvendt vil projektets modeller overvurderer ejendomme i tilfælde, hvor nærområdeprisen er lavere end den faktiske handelspris. Reelt betyder dette, at ejendomme placeret i billige (dyre) områder, men som sælges for meget mere (mindre), er besværlige for projektets model at vurdere.

Når nærområdeprisen er særdeles betydningsfuld for projektets vurderinger, kan en af årsagerne til projektets lavere træfsikkerhed for parcelhuse relativt til Engbergudvalgets skyldes, at Engbergudvalgets nærområdepris er mere nøjagtig. I nedenstående tabel 17 fremgår Engbergudvalgets og nærværende projekts PM20 for nærområdeprisen alene.

Tabel 17 - Træfsikkerheden af nærområdeprisen alene

	Ejerlejligheder	Rækkehuse	Parcelhuse
Projektets nærområdepris alene	81,4 pct.	77,9 pct.	47,7 pct.
Engbergudvalgets nærområdepris alene	81,2 pct.	77,9 pct.	59,6 pct.
Projektets forskel	0,2 pct.	0 pct.	-11,9 pct.

Annotering: Tabellen viser PM20 for projektets og Engbergudvalgets nærområdepris alene. Det vil sige at de angivet PM20 værdier er uden anvendelsen af en model, men er udelukkende baseret på de beregnede nærområdepriser.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Af tabellen fremgår det, at nærområdepriserne for ejerlejligheder og rækkehuse er omrent lige så nøjagtige for Engbergudvalget som for projektet. Dette betyder derfor, at forbedringerne, opnået af projektets modeller for disse ejendomstyper, alene kan henføres projektets datagrundlag og modeltype. For parcelhuse er afvigelsen betydeligt større, hvor projektets nærområdepris sammenlignet med Engbergudvalgets, er 11,9 pct. mindre nøjagtig. Engbergudvalgets model for parcelhuse opnår en træfsikkerhed på 67,5 pct., hvilket er en forbedring på 7,9 pct. ved at anvende GAM i kombination med nærområdeprisen. Projektets model for parcelhuse opnår en træfsikkerhed på 65,0 pct., hvorfor den tilsvarende forbedring er 17,3 pct., når der sammenlignes med nærområdeprisen alene. Projektets model for parcelhuse har derfor haft markant dårligere forudsætninger for at vurdere parcelhuse inden for PM20, men har alligevel formået at korrigere til et niveau, hvor projektets model kun fremstår 2,5 pct. mindre træfsikker end Engbergudvalgets. Årsagen til projektets afvigelse i nærområdeprisen er uvis, da projektet har optimeret denne, men kan bero på en manglende korrigering af tid.

Derudover kan nærværende projekt identificere to forklaringer på hvorfor nærområdeprisen og dermed også modellernes afvigelser opstår. Årsagerne til nærområdeprisens afvigelser kan primært findes ved niveauet af heterogenitet (eller homogenitet) og distancen til referenceejendommene (eller tæthed i boligmassen). Jævnfør afsnit 4.2.2 angiver nærområdeprisen et udgangspunkt baseret på en gennemsnitsbetragtning af referenceejendomme til den pågældende ejendom. Hvis referenceejendommene er placeret langt fra den pågældende, vil nærområdeprisen ikke afspejle de gældende geografiske forhold. Såfremt referenceejendommene afviger betydeligt fra den pågældende ejendom med hensyn til dets karakteristika, vil nærområdeprisen ligeledes ikke afspejle prisen af en tilsvarende ejendom. Graden af heterogenitet vil ikke blot påvirke nærområdeprisen eksplisit, men vil samtidig implicit berøre hele modellens træfsikkerhed. En større variation i sammenhængen mellem en ejendoms handelspris, karakteristika og geografisk placering, vil naturligt medføre en svækket evne til at vurdere den enkelte ejendom (Hansen & Iversen, 2023). En større variation vil

ligeledes advokere for en modeltype, der er i stand til at opfange mere komplekse forhold end traditionelle metoder (Gloudemans & Sanderson, 2021). Sammenhængen mellem projektets træfsikkerhed, graden af heterogenitet samt afstanden til referenceejendommene undersøges i de følgende afsnit.

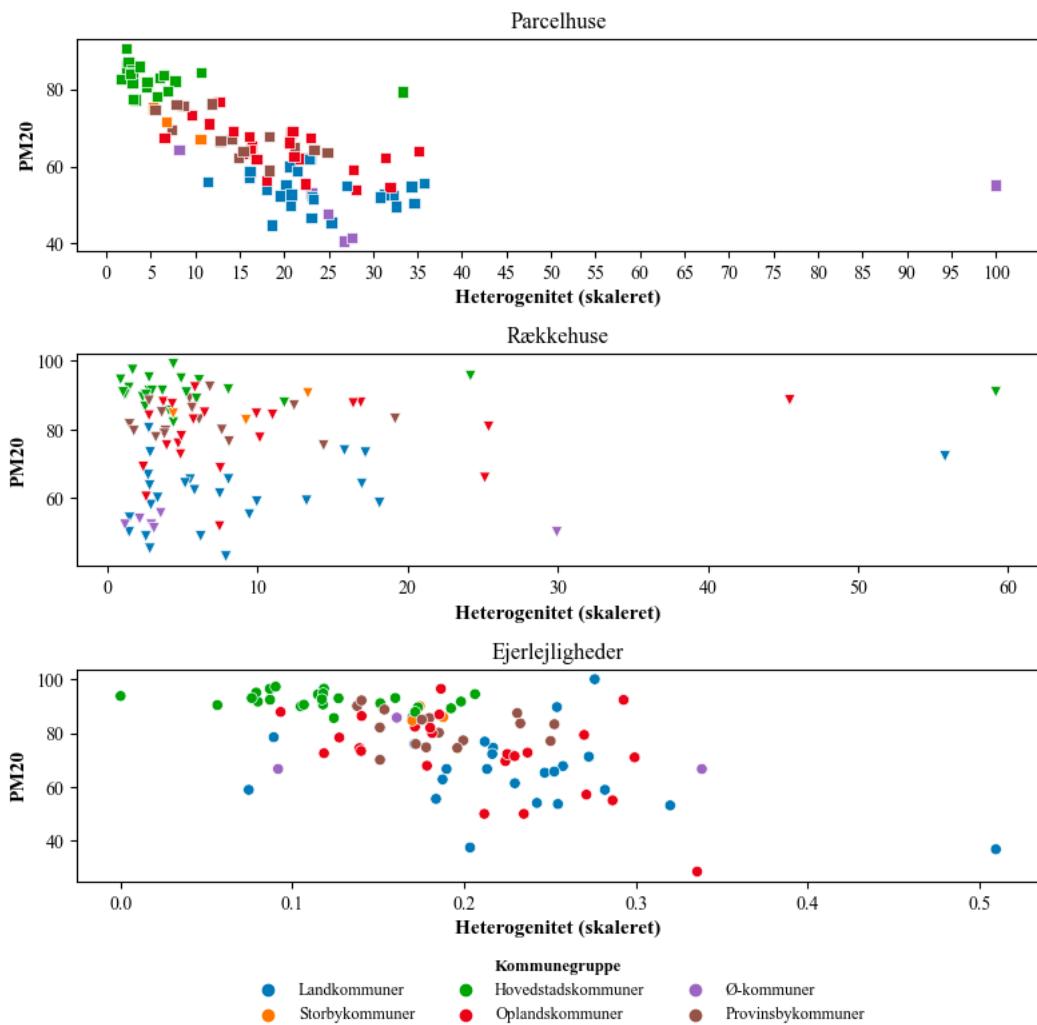
5.2.2 Graden af heterogenitet

I Hansen og Iversen (2023) påpeges det, at boligmassen i storbyer er mere homogen i modsætning til landdistrikter, der har en mere heterogen boligmasse. Ifølge Hansen og Iversen (2023) medfører dette, at træfsikkerheden er størst i storbyområderne og lavere i retning af landdistrikter. Engbergudvalget påpeger samtidig, at den relative træfsikkerhed mellem ejendomstyperne afspejler forskellen i ensartetheden. Det vil sige, at Engbergudvalgets model for ejerlejligheder har en højere træfsikkerhed, da ejerlejligheder generelt er mere ensartede end række- og parcelhuse (Skatteministeriet, 2014). Hverken Hansen og Iversen (2023) eller Skatteministeriet (2014) beviser disse påstande med afsæt i træfsikkerheden og illustrerer dermed ikke, hvilken betydning heterogeniteten har for deres resultater.

Nedenstående figur 21 illustrerer sammenhængen mellem projektets træfsikkerhed og graden af heterogenitet for hver ejendomstype opdelt i kommuner. Heterogeniteten for hver kommune beregnes ved at anvende ejendommenes vektorer af fysiske og geografiske karakteristika og ved at beregne den gennemsnitlige euklidiske distance i n -dimensioner mellem alle ejendomme i hver kommune. Metoden anvendes ofte inden for kvantificering af graden af sammenlignelighed mellem dataobservationer (Shekhawat, 2023). Hver enkeltstående værdi har ingen absolut betydning, men kan kun fortolkes relativt til andre kommuner eller ejendomstyper (Aibin, 2023; Shekhawat, 2023). En højere relativ værdi heraf indikerer, at ejendommene i den pågældende kommune i gennemsnit er mere forskellige, mens en lavere relativ værdi indikerer, at ejendommene i gennemsnit er mere ensartede¹³.

¹³ I projektets appendiks 8.9 er metoden til beregningen af niveauet af homogenitet vist i en todimensionel udgave, der illustrerer hvordan to grupper af ejendomme kan siges at være mere eller mindre homogene.

Figur 21 - Heterogenitet og træfsikkerhed efter ejendomstype



Annotering: Illustrationen viser sammenhængen mellem projektets træfsikkerhed (PM20) og graden af heterogenitet. Hver markering angiver én kommune, der er farvekodet efter hvilken kommunegruppe, den tilhører.

Bemærkninger: Graden af heterogenitet skaleres mellem mindst (0) og størst (100), således at det relative forhold beholdes på tværs af kommuner og ejendomstyper. Bemærk hertil at skaleringen medfører, at heterogenitetsniveauet for ejerlejligheder er meget lavt. Dette forekommer naturligt, fordi der er færre variable tilknyttet hver ejerlejlighed relativt til parcel- og rækkehuse. Derfor vil ejerlejligheden uagtet være mere homogene end parcel- og rækkehuse, hvilket heterogenitetsniveauerne for ejerlejligheder ligeledes afspejler.

Kilde: Egne beregninger

Af figur 21 findes, at parcelhuse generelt tenderer til at være mere heterogene sammenlignet med rækkehuse og ejerlejligheder. Dette fremgår ved, at en større andel af kommunerne har en højere grad af heterogenitet ved parcelhuse sammenlignet med de øvrige ejendomstyper. Ejерlejligheder er den mest homogene ejendomstype, eftersom ejerlejligheder har færre karakteristika, hvorfor mulighederne for at differentiere er lavere. I takt med at træfsikkerheden af projektets model for

parcelhuse er lavest og højest for ejerlejligheder, synes Engbergudvalgets påstand ligeledes at gøre sig gældende i nærværende projekt.

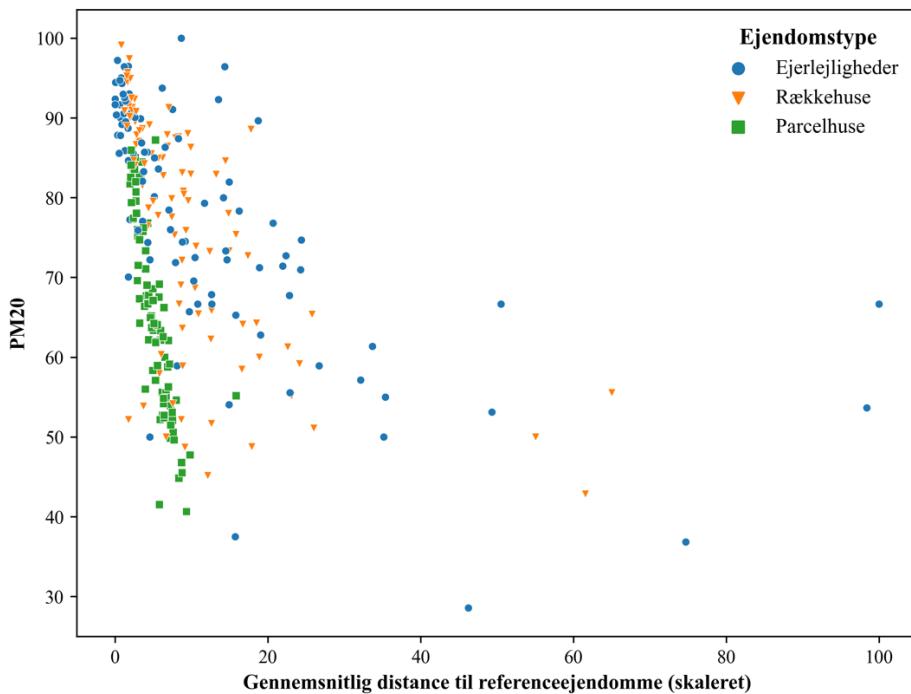
Derudover fremgår det af figur 21, at projektets træfsikkerhed for ejerlejligheder og rækkehuse ikke synes påvirket af graden af heterogenitet i samme omfang som parcelhuse. For parcelhuse er det tydeligt, at en større grad af heterogenitet i kommunerne reducerer træfsikkerheden. Således vil parcelhusene, der i højere grad er mere ensartede med den omkringliggende boligmasse, vurderes mere nøjagtigt. For rækkehuse og ejerlejligheder er der ligeledes en stor forskel mellem graden af heterogenitet mellem de enkelte kommuner, men projektets træfsikkerhed synes ikke påvirket i samme grad heraf. Dette fremgår tydeligt for rækkehuse, hvor der blandt de mest homogene kommuner er tilfælde af både høj og lav træfsikkerhed. Årsagen til at rækkehuse og ejerlejligheder opnår en større træfsikkerhed sammenlignet med parcelhuse, skal findes ved en kombination af, at nærområdeprisen i højere grad afspejler prisen af en lignende ejendom. For rækkehuse og ejerlejligheder skyldes afvigelserne i højere grad boligmassens tæthed.

5.2.3 Tætheden i boligmassen

Som beskrevet indledningsvist vil nærområdeprisen afvige, hvis de anvendte referenceejendomme ikke afspejler de gældende geografiske forhold. I takt med at nærområdeprisen er den indflydelsesrigt variabel i projektets modeller, vil en større afstand derfor påvirke nærområdeprisen og derigennem projektets modeller.

I nedenstående figur 22 fremgår sammenhængen mellem projektets træfsikkerhed og den gennemsnitlige afstand til referenceejendommene opdelt efter kommune og ejendomstype.

Figur 22 - Tæthed i boligmassen og træfsikkerhed efter ejendomstype



Annotering: Figuren viser sammenhængen mellem projektets træfsikkerhed for kommuner og den gennemsnitlige afstand til referenceejendomme i kommunen, for hver ejendomstype. Hver markering i figuren afspejler én kommune, mens formen af markering angiver ejendomstypen.

Kilde: Egne beregninger

Figur 2 afspejler, at afstanden mellem referenceejendomme for parcelhuse generel er kort, relativt til de øvrige ejendomstyper, hvilket skyldes det store antal parcelhuse i projektets datagrundlag. Figuren illustrerer, at projektets træfsikkerhed for parcelhuse er meget sensitiv overfor øget afstand til referenceejendomme, hvilket ikke nødvendigvis er korrekt. Årsagen hertil er den høje korrelation mellem heterogeniteten og afstanden til referenceejendommene, hvilket fremgår af projektets appendiks 9.9.1. Relativt til de øvrige ejendomstyper er afstanden for parcelhuse meget lav, hvorfor afstanden ikke kan siges at reducere træfsikkerheden af projektets model for parcelhuse, men at det i stedet skyldes graden af heterogenitet. Dette understreger påstanden i Hansen og Iversen (2023), eftersom afstanden til referenceejendommene er lavest i udkantsområderne.

For rækkehuse og ejerlejligheder ses en negativ sammenhæng mellem den gennemsnitlige afstand til referenceejendommene og projektets træfsikkerhed. Det bemærkes, at træfsikkerheden er højest i de områder, hvor der ligeledes er lavest afstand til referenceejendommene, mens træfsikkerheden er faldende i takt med, at afstanden øges. Årsagen er, at højere afstand mellem referenceejendommene

bevirker, at nærområdeprisen ikke afspejler de gældende geografiske forhold. Figur 22 illustrerer derfor også, at det for ejerlejligheder og rækkehuse er afgørende, at de udvalgte referenceejendomme er så lokalt placeret som muligt, da disse ejendomstyper, relativt til parcelhuse, i højere grad ligner hinanden.

I ovenstående afsnit fremgår det, at nærområdeprisen er den mest indflydelsesrige variabel for nærværende projektets vurderinger. Hertil illustreres det, at afvigelser mellem modellernes vurderingerne og den faktiske handelspris efterligner afvigelser mellem nærområdeprisen og den faktiske handelspris. For parcelhuse kan nærområdeprisens afvigelser fra handelsprisen være påvirket af graden af heterogenitet, mens den for ejerligheder og rækkehuse er påvirket af tæthedens boligmassen.

5.3 Gennemsigtigheden af den enkelte vurdering

Til sammenligning med Engbergudvalgets træfsikkerhed har projektets metode og model en højere træfsikkerhed for to ud af tre ejendomstyper, nemlig ejerligheder og rækkehuse. Indførelsen af et system tilsvarende projektets forudsætter, at den enkelte vurdering kan forklares med afsæt i dets karakteristika. Kommende afsnit illustrerer to selvstændige vurderinger af tilfældige rækkehuse fra projektets datasæt. Modellen for rækkehuse er valgt, da der indgår flere karakteristika end for ejerlejligheder, og da den er mere træfsikker end modellen for parcelhuse.

I nedenstående tabel 18 fremgår de to udvalgte rækkehuse, deres karakteristika og tilhørende SHAP-værdier. *Baseline* angiver den gennemsnitlige vurderet kvadratmeterpris for alle rækkehuse i projektets testdatasæt, og er konstant og ens for alle ejendomme. SHAP-værdierne for de enkelte variable angiver hertil tillæg eller fratræk fra baseline. SHAP-værdierne er udtrykt i kr./m², hvilket vil sige, at de beskriver et tillæg (positiv) eller fratræk (negativ) til den endeligt vurderede kvadratmeterpris.

Tabel 18 - Beregningseksempel på to tilfældigt udvalgte rækkehuse

Adresse Baseline	Første rækkehus		Andet rækkehus	
	Karakteristika værdi	SHAP (kr.)	Karakteristika værdi	SHAP (kr.)
Nærområdepris	37293	4701	24228	-4542
Distancemål (km)	29,9	491	49,2	-1521
Antal værelser	6	340	6	-330
Opførselsår	1973	-97	2019	1015
Boligareal (m ²)	160	-2647	130	-21
Antal etager	1	-117	2	9
Om-/tilbygningsår	0	197	0	69
Areal af indbygget carport (m ²)	0	-5	0	1
Areal af indbygget garage (m ²)	0	-6	0	-23
Areal af indbygget udhus (m ²)	0	12	0	1
Areal af indbygget uestue eller lign. (m ²)	0	-22	0	-19
Grundareal (m ²)	505	203	205	-183
Kælderareal (m ²)	0	-51	0	-72
Carport	Ja	-59	Ja	-58
Garage	Nej	-2	Nej	19
Udhus	Nej	-72	Nej	-40
Fritliggende overdækning	Nej	0	Nej	0
Fritliggende uestue	Nej	0	Nej	0
Dato for salg	2014,42	-342	2019,24	117
Udbud v. salg (antal ejendomme)	180	956	435	380
Rente v. salg	3,12	-69	1,57	57
BNP v. salg (mia.kr.)	1767,19	260	1921,83	-4
Sidste salgspris (kr.)	5.126.337	3 700	0	-956
Sidste salgsdato	2005.27	-1156	0	311
Energimærke	C (5)	238	A (7)	762
Antal bad & toiletter	3	184	4	167
Varmeinstallation	Centralvarme med én fyrsenhed	200	Fjernvarme/blokvarme	-39
Tagmateriale	Betonststen	-379	Tagpap med lille hældning	392
Ydervægsmateriale	Mursten	56	Mursten	6
Kommune	(Hovedstadsommune)	2515	Skanderborg (Oplandsommune)	-204
Opvarmningsmiddel	Naturgas	-542	Ingens	43
Supplerende varmekilder	Ingen	14	Ingens	-12
Sum af SHAP		8501		-4673
Vurderet kr./m ² (Sum af SHAP + Baseline)	36.629 kr.		23.454 kr.	
Faktisk kr./m ²	37.702 kr.		24.697 kr.	
Opskalert vurdering	5.860.638 kr.		3.049.067 kr.	
Faktisk handelspris	6.032.340 kr.		3.210.638 kr.	
Vurderingens afvigelse	-171.703 kr.		-161.571 kr.	
Afvigelse i pct.	-2,85 %		-5,03 %	

Annotering: Tabellen viser hvordan projektets vurderinger af to tilfældigt udvalgte rækkehuse kan forklares med afsæt i SHAP. Tabellen viser hertil hver karakteristikas tillæg eller fradrag fra den gennemsnitlige vurdering (*Baseline*), hvorfor summen af disse og baseline svare til modellens præcise vurdering.

Bemærkninger: Summen af værdier vil ikke nødvendigvis stemmer overens, som følge af projektets afrunding.

Kilde: Egne beregninger

Af tabel 18 fremgår det, at de vurderede kvadratmeterpriser for de to rækkehuse, er summen af en række tillæg og fratræk fra deres karakteristika sammenlagt den gennemsnitlige vurdering på tværs af alle rækkehuse. Brugen af SHAP-værdier trækker derfor paralleller til en klassisk hedonisk prismodel, hvor en given vurdering ligeledes er summen af bidrag fra ejendommens karakteristika. Ovenstående tabel efterligner derfor det illustrerede beregningseksempel i Engbergudvalgets rapport, der gengives i projektets appendiks 9.10. Engbergudvalgets beregningseksempel angiver et eksempel

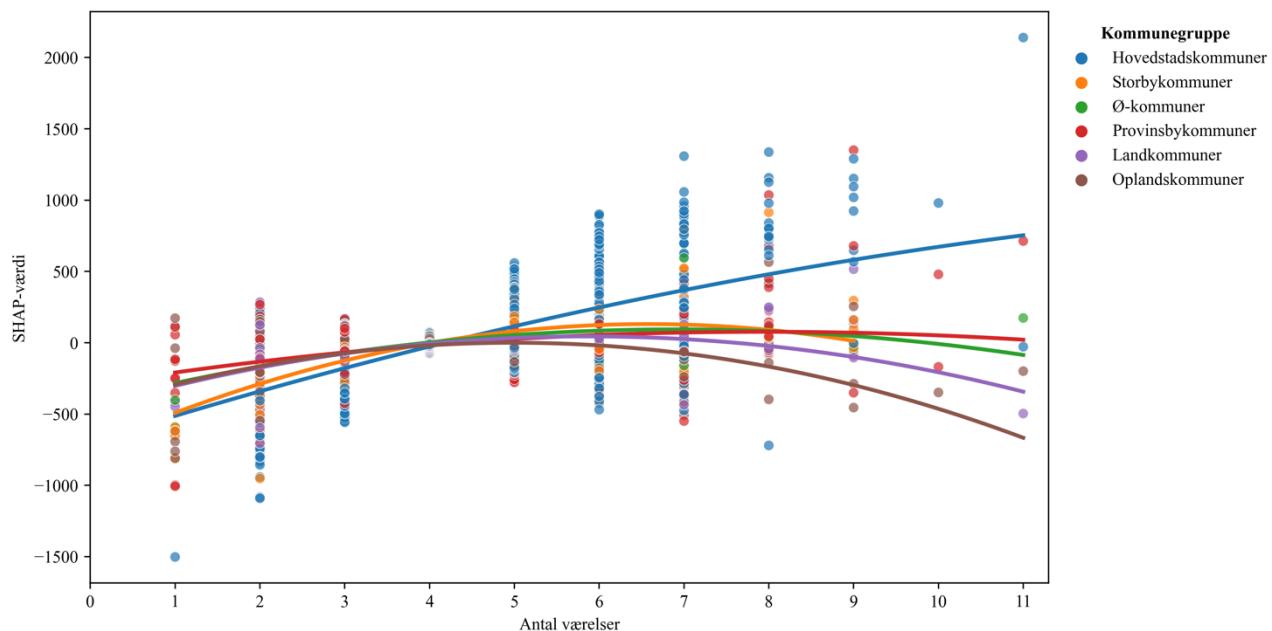
på en hedonisk prismodel, hvori der indgår én konstant og en række estimerede parametre. Produktet af ejendommens karakteristika og de estimerede parametre angiver tillægget eller fradraget til vurderingen, afhængigt af det estimerede parameters fortegn (Skatteministeriet, 2014). Antages baseline fra tabel 18 at simulerer konstanten i Engbergudvalgets beregningseksempel, vil SHAP-værdierne derfor udgøre en næsten identisk beregningsmetode.

Anvendelsen af SHAP-værdier udgør dog en markant forskel, som kan hæmme gennemsigtigheden af vurderingerne. I beregningseksemplet af Engbergudvalget fremgår konstante parametre, hvilket betyder, at tillægget til en vurdering af en ejendom med to værelser, vil være ens for alle ejendomme med to værelser. Dette vil ikke nødvendigvis være tilfældet ved brug af ANN-modeller og SHAP-værdier. De udvalgte rækkehuse i tabel 18 har eksempelvis begge 6 værelser, hvoraf antallet af værelser bidrager med +330 kr./m² for rækkehuset i Værløse, men bidrager med -340 kr./m² for rækkehuset i Galten. Det vil sige, at selvom de to rækkehuse har samme antal værelser, påvirkes den endelige vurdering anderledes. Årsagen er, at SHAP-værdierne for de enkelte karakteristika skal tolkes i sammenspil med alle de øvrige inkluderede variable. Eksempelvis illustrerer figur 23 sammenhængen mellem SHAP-værdier og antallet af værelser efter ejendommens kommunegruppe. Her fremgår det, at SHAP-værdierne (og derfor bidraget til vurderingen) er negative, når antallet af værelser er under 4 og mest negativ for Hovedstads- og Storbykommuner. For Hovedstadskommuner vil et antal værelser over 4 bidrage positivt til vurderingen, mens det for de øvrige kommunegrupper vil aftage over stigende antal værelser og bidrage negativt til vurderingen. Dette er derfor medforklarende til, hvorfor de to udvalgte rækkehuse er påvirket forskelligt til trods for, at de begge har 6 værelser. I projektets appendiks 9.11 er forsøgt at afdække et udsnit af andre interaktionseffekter, for at fremme pointen.

Det er kompliceret at afdække alle tænkelige sammenhænge, der medfører, at ens karakteristika kan have forskellig indflydelse på vurderingerne, da sammenhængene kan inkludere flere karakteristika og ikke-lineære interaktioner. Eksempelvis kan det af figur 23 bemærkes, at flere rækkehuse placeret i Hovedstadskommuner ligeledes er påvirket negativt ved 6 antal værelser. Den præcis årsag til dette er besværlig at afdække, fordi det kan bero på en kombination af mange karakteristika for den præcise ejendom. Årsagen er, at ANN-modellers struktur netop tillader komplekse sammenhænge, der ikke nødvendigvis er åbenlyse eller mulige at illustrere grafisk. Som figur 23 dog illustrerer, er det muligt at afdække generelle tendenser, der er medforklarende til, hvorfor ens karakteristika kan have

forskellig indflydelse. Hvorvidt dette udgør en betydningsfuld hæmning for gennemsigtigheden af vurderinger baseret på ANN-modeller, og hvorvidt SHAP-værdier som helhed kan anvendes til at opretholde det fornødne niveau af gennemsigtighed, forbeholdes projektets diskussion.

Figur 23 - Interaktion mellem antal værelser og kommune



Annotering: Figuren viser sammenhængen mellem SHAP-værdierne og antallet af værelser i kombination med kommunegruppen, som ejendommen er placeret i. De angivne linjer er polynomiske regressionslinjer, der er tilføjet for at fremme den underliggende trend i sammenspillet mellem SHAP-værdier, antal værelser og kommunen. Som det fremgår af tabel 18 indgår det første rækkehuse i Hovedstadsommuner, mens andet rækkehuse indgår i oplandsommuner. Figuren illustrerer den ikke-lineære sammenhæng mellem antallet af værelser og ejendommens placering, der blot illustrerer én af de interaktioner, der medfører, at SHAP-værdier skal tolkes som helhed i sammenspil med ejendommens øvrige karakteristika.

Bemærkninger: Hver markering i figuren angiver ét rækkehus i projektets testdataset efter dets antal værelser og tilhørende SHAP-værdi.

Kilde: Egne beregninger

Overordnet illustrerer tabel 18, at SHAP-værdier trækker paralleller til en hedonisk model, hvor enkelte vurderinger beror på en sum af tillæg og fradrag af ejendommens karakteristika. På denne måde illustreres, hvordan den enkelte vurdering, med afsæt i dets karakteristika, kan forklares for den enkelte boliger ved anvendelse af SHAP-værdier. Hvorvidt de pointerede problematikker udgør en hæmning af gennemsigtigheden, og hvorvidt SHAP-værdier udgør et alternativ til Engbergudvalgets beregningseksempel, forbeholdes sidste del af projektets diskussion.

5.4 Delkonklusion

Projektets resultater illustrerer, at projektets modeller og fremgangsmetode medfører en øget træfsikkerhed på samlet 3,9 pct. sammenlignet med Engbergudvalget. Forbedringen består i en øget træfsikkerhed for ejerlejligheder og rækkehuse, mens træfsikkerheden for parcelhuse er lavere. Forbedringen ved PM20 er størst for ejerlejligheder, hvor projektets model er 4,2 pct. mere træfsikker end Engbergudvalgets, mens træfsikkerheden for rækkehuse er 2,2 pct. højere. For parcelhuse opnår projektet en 2,5 pct. lavere træfsikkerhed end Engbergudvalget. For parcel- og rækkehuse har projektets modeller en forbedret træfsikkerhed for billige og dyre ejendomme, mens projektets model for ejerlejligheder har en forbedret træfsikkerhed for dyre ejendomme. Samtidig findes at projektets modeller for ejerlejligheder og rækkehuse har en øget træfsikkerhed på tværs af alle kommunegrupper sammenlignet med Engbergudvalget. For parcelhuse opnår projektet en forbedret træfsikkerhed for Hovedstads- og Landkommuner sammenlignet med Engbergudvalget.

For projektets vurderinger findes nærområdeprisen at være den mest indflydelsesrige variabel. Afvigelser mellem projektets vurderinger og den faktiske handelspris følger i høj grad afvigelserne mellem nærområdeprisen og den faktiske handelspris. Med afsæt i dette har projektet undersøgt årsager hertil, hvor der identificeres tre årsager. Projektets nærområdepris for parcelhuse er alene mindre nøjagtig end nærområdeprisen for parcelhuse anvendt i Engbergudvalget. Årsagen kan skyldes projektets metode til beregning af nærområdeprisen, hvor der ikke stilles krav til tidshorisonten. Derudover findes, at projektets model for parcelhuse påvirkes af graden af ensartethed, hvor en øget heterogenitet medfører en lavere træfsikkerhed. For rækkehuse og ejerlejligheder er der i højere grad en negativ sammenhæng mellem afstanden til referenceejendomme og træfsikkerheden, hvor en øget afstand til referenceejendomme reducerer projektets træfsikkerhed for disse ejendomstyper.

Slutteligt præsenteres, hvordan SHAP-værdier kan anvendes til at forklare hver enkel ejendomsvurdering. Dertil pointeres, at SHAP-værdier trækker parallelle til Engbergudvalgets beregningseksempel, men at interaktionseffekter kan reducere gennemsigtigheden af vurderingerne, da ens karakteristika ikke tilskrives samme bidrag. Denne pointe belyses yderligere i projektets diskussion.

6 Diskussion

Nærværende projekt har fokus på træfsikkerheden og gennemsigtigheden af et offentlig ejendomsvurderingssystem. Af hensyn til træfsikkerheden vil projektets diskussion berøre, hvorvidt Engbergudvalgets og projektets resultater kan sammenlignes, herunder datagrundlagets størrelse, og hvorvidt projektets datagrundlag baseres på markedsvilkår. Desuden diskuteser undladelsen af samfundsøkonomiske variable i det offentlige vurderingssystem. Af hensyn til gennemsigtigheden vil projektets diskussion berøre, hvorvidt projektets metode og model opretholder et fornødent niveau af gennemsigtighed.

6.1 Projektets resultater og sammenligning med Engbergudvalget

Det er undervejs i projektets præsentation af resultater påpeget, at projektets antal evaluerede ejendomme er betydeligt større end Engbergudvalgets. I nedenstående tabel 19. fremgår forskellen i antallet af evaluerede ejendomme inden for de tre ejendomstyper.

Tabel 19 - Forskel i antallet af evaluerede ejendomme mellem projektet og Engbergudvalget

	Parcelhuse	Rækkehuse	Ejerlejligheder	Samlet
Engbergudvalget	7 481	1 913	3 770	13 164
Nærværende projekt	95 872	16 821	27 386	140 079
Forskel i antal	88 391	14 908	23 616	126 915
Procentvis forskel	1 181 pct.	779 pct.	626 pct.	964 pct.

Annotering: Tabellen viser forskel i antallet af evaluerede ejendomme for de tre ejendomstyper.

Kilde: Egne beregninger og Skatteministeriet (2014)

Projektets metode har bevirket til en øget træfsikkerhed for ejerlejligheder på 4,2 pct. ved PM20, 2,2 pct. for rækkehuse, men er 2,5 pct. mindre træfsikker for parcelhuse. Samlet er projektets model derfor omrent 4 pct. mere træfsikker. For et vurderingssystem, der skal anvendes til at vurdere omrent 1,7 millioner danske ejerboliger, vil en træfsikkerhed, baseret på 13.164 ejendomme, formentlig ikke afspejle en realistisk træfsikkerhed for et samlet vurderingssystem. Årsagen hertil er, at Engbergudvalgets anvendte grundlag ikke nødvendigvis er repræsentativt for alle danske ejerboliger, da datagrundlaget ikke afspejler variationen blandt ejerboliger i Danmark med hensyn til størrelse, beliggenhed og andre karakteristika. Dette kan medføre unøjagtige eller fejlagtige træfsikkerhedsmål, der ikke afspejler den faktiske træfsikkerhed. Omvendt afspejler projektets antal evaluerede ejendomme heller ikke en faktisk træfsikkerhed, men vil relativt til Engbergudvalget, angive en mere robust og virkelighedsnær indikation af træfsikkerheden for et samlet

vurderingssystem. Pointen med dette er ikke at forkaste muligheden for, at det nye vurderingssystems GAM-model er mere træfsikker end nærværende projekt. Pointen er derimod, at træfsikkerhedsmålene angivet af Engbergudvalget ikke nødvendigvis er skalerbare til størrelsen krævet af et faktisk vurderingssystem, hvorfor projektets lavere træfsikkerhed for parcelhuse blot er et resultat af en mere nøjagtig evaluering.

En mere retvisende sammenligning af træfsikkerheden mellem projektets modeller og det nye vurderingssystem kan findes ved en analyse foretaget af DR, der evaluerer træfsikkerheden af det nye vurderingssystems foreløbige vurderinger (Ingvorsen et al., 2023a). DR evaluerer i alt 82.603 ejendomme solgt 6 mdr. før eller efter 1. januar 2022, som er datoen, de foreløbige vurderinger tilsigter. Analysen viser, at træfsikkerheden ved PM20 er 64,9 pct. for de evaluerede ejendomme, og kan derfor angive vurderingssystemets træfsikkerhed for et mere retvisende datagrundlag. Fordelingen mellem ejerlejligheder, række- og parcelhuse angives ikke. Antages fordelingen at være tilsvarende projektets testdata, er projektets samlede træfsikkerhed 71,6 pct., hvilket er 6,7 pct. mere end det nye vurderingssystem. DR's analyse underbygger derfor påstanden om, at Engbergudvalgets smalle testgrundlag kan medføre en fejlagtig højere træfsikkerhed, der ikke nødvendigvis er retvisende for et samlet vurderingssystem.

Da DR's analyse omhandler de foreløbige vurderinger af 2022, er ovenstående sammenligning af træfsikkerhed ligeledes en direkte sammenligning med den nye vurderingssystem. I projektets arbejde antages, at Engbergudvalgets modeller og resultater udgør en gyldig repræsentation af det nye vurderingssystem, da der ikke eksisterer nogen dokumentation af det nye vurderingssystem, og da Skatteministeriet (2016) påpeger, at det nye system efterligner Engbergudvalgets. Det er derfor med et vist forbehold, at projektets resultater sammenlignes med de træfsikkerhedsmål, der udtales af Skatteminister, Jeppe Bruus, og Vurderingsstyrelsen (Skatteministeriet, 2021; 2023b). Bruus udtalte i 2023, at træfsikkerheden af det nye vurderingssystem for parcel- og rækkehuse og ejerlejligheder er omtrent 70 pct. og 86 pct. ved PM20 (Skatteministeriet, 2023b). Sammenlignes disse med nærværende projekts, vil projektets samlede træfsikkerhed være lavere, grundet en lavere træfsikkerhed for parcelhuse. De fremlagte træfsikkerhedsmål har dog intet grundlag i form af antallet af evaluerede ejendomme, prisniveau, geografisk placering eller tidshorisont, hvorfor det er svært at vurdere, hvorvidt resultatet er sammenligneligt med projektets. Da der mangler fyldestgørende dokumentation af både systemet og de anslæde resultater, er det besværligt nøjagtigt

at vurdere, hvorvidt nærværende projekts fremgangsmetode medfører en forbedret træfsikkerhed sammenlignet med det nye vurderingssystem. Baseret på DR's analyse og Engbergudvalgets resultater er der dog indikationer på, at projektets metode opnår en højere træfsikkerhed i forhold til det nye vurderingssystem.

Er projektets datagrundlag baseret på markedsvilkår?

Af Ejendomsvurderingsloven fremgår det, at vurderingerne skal tilsigte den forventelige kontantpris, som en ejendom ville kunne sælges for. En forventelig kontantpris vil være prisen mellem to uafhængige parter, som indbyrdes afgør prisen, der afspejler værdien af en ejendom. En forudsætning for konstruktionen af en vilkårlig model til at vurdere denne pris er, at de anvendte handelsoplysninger er foretaget på markedsvilkår (Skatteministeriet, 2014). Af projektets afsnit 4.2 fremgår det, at de inkluderede salg i projektets analyse, er frie salg indhentet fra Boliga.dk, der indhenter oplysninger fra Tinglysningen, ligesom Engbergudvalget. I kritikken af det gamle vurderingssystem fandt Rigsrevisionen (2013), at omrent 22 pct. af Tinglysningens registrerede frie salg i sidste halvdel af 2011, ikke kunne karakteriseres som frie salg ved manuel gennemgang¹⁴. Heraf var omrent 62 pct. af ejendommene eksempelvis solgt som dødsbo. Engbergudvalget har derfor haft en målsætning om at frasortere salg, der er foretaget på andet en markedsvilkår. Frasorteringen udføres ved at undersøge, om sælger og køber er beslægtede, om køber og sælger bor eller har boet på samme adresse m.m. (Skatteministeriet, 2014)

Nærværende projekt har ikke udført en lignende filtrering, eftersom de nødvendige oplysninger til en sådan filtrering ikke har været tilgængelige¹⁵. Dette kan derfor også være medvirkende til, at projektets træfsikkerhed ikke er højere. Det fremgår eksempelvis af Boligsiden.dk, at parcelhuse solgt som dødsbo typisk sælges til 2000 kr./m² lavere end under markedsvilkår (Boligsiden, 2016). Dette er problematisk, da der for disse ejendomme ikke er en retvisende sammenhæng mellem karakteristika og pris, hvilket påvirker både træningen og evalueringen af projektets modeller. Der synes at være grundlag for antagelse om, at salg ved dødsbo, familiesalg og de andre kategorier oftere sælges til priser, der er lavere end markedsprisen. Såfremt dette er tilfældet, kan dette være medforklarende til, hvorfor alle projektets modeller i højere grad overestimerer billige ejendomme. Hvis en ejendom sælges for et lavere beløb, fordi den sælges udenfor markedsvilkår, kan projektets

¹⁴ Andre kategorier af ikke frie salg fundet af Rigsrevisionen (2013) indebærer; delsalg, salg mellem interesse forbundne parter, familiehandel, auktion mm.

¹⁵ Eksempelvis CPR- og adresse oplysninger (Skatteministeriet, 2014).

vurdering risikere at optræde som en overvurdering af en billig ejendom, uden at dette nødvendigvis er tilfældet, hvis projektets model skønner prisen efter markedsvilkår. Det er uvist i hvor stort omfang, dette påvirker nærværende projekts træfsikkerhed. På baggrund af at 22 pct. af alle ejendomme solgt i anden halvdel af 2011 karakteriseres som ikke-frie salg, trods de var Tinglyst således, kan være en yderst relevant faktor i forklaringen på projektets tendens til at overestimere billige ejendomme.

Samfundsøkonomisk perspektiv?

Som præsenteret ved figur 19 i afsnit 5.2.1 er summen af de samfundsøkonomiske variable, *renten*, *BNP* og *udbud*, blandt de mest indflydelsesrige variable for projektets vurderinger. Summen af disse har i gennemsnit en absolut indvirkning på omrent 730 kr./m², hvilket for en gennemsnitlig bolig på 136 m² betyder, at vurderingen justeres med næsten 100.000 kr. For publikationer omhandlende det samlede boligmarked, er der en generel forståelse af, at renten, indkomsten og udbuddet har afgørende indflydelse for boligpriserne på landsplan (Wagner (2005), Skaarup & Bødker (2010), Adolfsen et al. (2022), Hetland et al. (2021)). Når de nævnte makroøkonomiske variable har betydning for det samlede boligmarked, bør de vel ligeledes have indflydelse på den enkelte ejendoms værdi, og dermed vurdering? I forbindelse med at dette aspekt ikke inkluderes i det nye vurderingssystem, må det formodes, at det skyldes et fravalg. Man kan argumentere for, at fravalget beror på to årsager. I takt med at vurderingerne baseres på fremskrevne handelspriser, vil en del af effekterne muligvis være opfanges i fremskrivningen af disse. Årsagen er, at handelspriserne pris er fremskrevet ved lokale prisindeks og salgspriserne af disse vil derfor være et resultat af de givne samfundsøkonomiske forhold. På denne måde kan renten, BNP og udbuddet være implicit korrigert for. Spørgsmålet hertil er dog i hvilket omfang, de er korrigert, og om dette er tilstrækkeligt. Nærværende projekt anvender ligeledes fremskrevne handelspriser, men inkluderer eksplicit renten, BNP og udbud som variable for hver ejendom. Da variablene er betydningsfulde for projektets vurderinger, kan der argumenteres for, at det samfundsøkonomiske aspekt formodentligt ikke inkluderes tilstrækkeligt af Engbergudvalget. Endvidere påviser nærværende projekt, at eksempelvis renten har forskellig indflydelse på vurderingen afhængig af placering og områdets pris (appendiks 9.11). Dette advokerer for en eksplicit håndtering af de samfundsøkonomiske forhold, hvor de ligeledes tillades at have varieret indflydelse efter geografi og pris.

En anden årsag til, at aspektet ikke dækkes af det nye ejendomsvurderingssystem, kan findes ved et afgrænset fokus på ejendommens karakteristika. På den ene side fremgår det af Skatteministeriet (2021), at ”*Ejendomsvurderingerne skal ansætte den forventelige kontantværdi i fri handel for en ejendom i en given kategori under hensyn til alder, størrelse, beliggenhed og øvrige karakteristika*” (s. 172). Formuleringen heraf tilsigter i høj grad en hedonisk forståelse, hvoraf ejendomsværdien er et resultat af en række karakteristika for den enkelte ejendom. Det kan hertil argumenteres for, at renten, udbuddet og BNP ikke indgår i kategorien karakteristika, men derimod kategoriseres som markedsforhold, der derfor ikke inkluderes. På den anden side fremgår det af Skatteministeriet (2021) at ”*De nye vurderinger af ejendomsværdien bør . . . afspejle den pris, som ejendommen kan sælges til på et frit marked mellem to uafhængige parter (dvs. sælger og køber).*” (s. 172). Med afsæt i litteraturen om det danske boligmarked på landsplan, vil prisen, som en ejendom kan sælges for, være påvirket af et større samfundsøkonomisk aspekt, hvorfor disse forhold bør inkluderes. Fravalget af det samfundsøkonomiske aspekt kan ligeledes blyses med afsæt i projektets næstkomende afsnit om gennemsigtighed.

Overordnet er det vanskeligt at sammenligne projektets resultater med Engbergudvalgets grundet den store afvigelse i antallet af evaluerede ejendomme. En mere retvisende sammenligning kan foretages med udgangspunkt i DR’s analyse (Ingvorsen et al., 2023a), der viser, at træfsikkerheden for det nye vurderingssystem ved PM20 er 64,9 pct., hvilket er 6,7 pct. lavere end træfsikkerheden i nærværende projekt. Hvis en større andel af projektets inkluderede salg samtidig er foretaget på andet end markedsvilkår, kan projektets træfsikkerhed være reduceret som følge heraf. Såfremt dette er tilfældet, kan det være medforklarende til projektets tendens til at overvurdere ejendomme, der er solgt for lavere beløb. Sluttligt kan udeladelsen af et samfundsøkonomisk aspekt anfægtes, da projektet viser, at dette har betydning for vurderingerne. Kombineret hermed kan projektets højere træfsikkerhed indikere, at ekskluderingen af dette aspekt kan have medført en lavere træfsikkerhed i Engbergudvalgets udlæg. På baggrund heraf bør det nye vurderingssystem derfor inddrage et overordnet samfundsøkonomisk aspekt, medmindre udeladelsen skyldes et skærpet fokus på ejendommens karakteristika.

6.2 Gennemsigtighed ved brug af neurale netværk

Strukturen af ANN-modeller medfører konsekvent mindre gennemsigtighed af et vurderingssystem, hvilket er relevant at tage i betragtning i forbindelse med projektets højere træfsikkerhed.

Gennemsigtighed er i denne sammenhæng et mangefacetteret begreb. Af afsnit 3.3 fremgår det, at et af hovedformålene med det nye vurderingssystem er, at ejendomsvurderingerne skal kunne begrundes og forklares (Skatteministeriet, 2016). Nærværende projekt finder denne betegnelse af gennemsigtighed utilstrækkelig, da den ikke nøjagtigt beskriver, hvad gennemsigtighed indebærer. Gennemsigtighed er en umulig genstand at måle, hvorfor projektets belysning af denne problematik tager udgangspunkt i Thampi (2022), der beskriver gennemsigtighed for statistiske modeller. Med afsæt i Thampi (2022) præsenteres egenskaberne af en gennemsigtig model i nedenstående tabel 20, hvor egenskaberne omformuleres af nærværende projekt til konteksten af ejendomsvurderinger.

Tabel 20 - Egenskaber ved en gennemsigtig model

Identificering af vigtige forhold	Det er muligt at identificere de variable, der har størst indflydelse på vurderingerne, og at disse variable samtidig er letforståelige.
Evnен til at forklare vurderingerne	Det er muligt at forklare hver enkelt vurdering med afsæt i de inkluderede karakteristika
Sammenhæng mellem in- og output	Modeltypen er transparent, og der er en klar sammenhæng mellem hvordan ejendommens karakteristika transformeres til en vurdering.

Annotering: Tabellen angiver egenskaberne af en gennemsigtig model med afsæt i Thampi (2022), omskrevet af projektet til konteksten af ejendomsvurderinger.

Kilde: Egen tilskrivelse baseret på Thampi (2022)

Gennemsigtighed er derfor ikke blot et udtryk for evnen til at forklare den enkelte vurdering, men samtidig gennemsigtigheden i hvad der anvendes (karakteristika), og hvad der produceres (vurdering), samt forbindelsen herimellem. Hvorvidt nærværende projekt lever op til de identificerede egenskaber af en gennemsigtig model, diskuteres i det følgende.

Identificering af vigtige forhold

Første egenskab af en gennemsigtig model angiver, at det er muligt at identificere vigtigheden af hver inkluderet variabel samtidig med, at hver variabel er relevant og letforståelig med hensyn til problemstillingen, som modellen anvendes til (Thampi, 2022). I denne forbindelse gør SHAP-værdier det muligt at illustrere, hvilke variable, der har størst indflydelse på projektets modeller og dermed vurderinger (figur 19). Da SHAP-værdier tillige har additive egenskaber faciliterer de muligheden for at se, hvilke grupper af variable, der har størst indflydelse på vurderingen. Samtidig udtrykkes SHAP-værdier i samme enhed (kr./m^2) som modellernes vurderinger, hvilket gør dem letforståelige. Som illustreret i afsnit 5.2 har summen af de samfundsøkonomiske variable eksempelvis en gennemsnitlig indflydelse på omtrent 730 kr./m^2 . SHAP-værdier gør det derfor muligt

at identificere vigtige forhold i vurderingen, når der anvendes ANN-modeller, hvilket tillige bekræftes af Thampi (2022). Hvorvidt ANN-modeller i kombination med SHAP-værdier opfylder denne egenskab, afhænger derfor i højere grad af de variable, som nærværende projekt inkluderer.

Selvom projektets inkluderede variable tager afsæt i et lignende grundlag som Engbergudvalget og Hansen og Iversen (2023), udgør inkluderingen af samfundsøkonomiske variable muligvis en udfordring. Som tidligere nævnt formodes det, at Engbergudvalget og det nye vurderingssystem har fravalgt disse, grundet et skærpet fokus på ejendommens karakteristika, eller at de har korrigeret herefter ved fremskrivningen. Førstnævnte årsag kan begrundes i, at inkluderingen af et overordnet samfundsøkonomiske aspekt medfører en ekstra dimension af kompleksitet. Inkluderes de samfundsøkonomiske variable, vil den enkelte vurdering være eksplisit påvirket af generelle forhold, der ikke direkte knytter sig til den vurderede ejendom. Der skal derfor kunne argumenteres for, hvordan disse forhold påvirker den enkeltes vurdering, hvilket forudsætter, at variabelenes indflydelse på vurderingen er gennemskuelige. Hvorvidt de er gennemskuelige, afhænger af, om indflydelsen af disse variable på værdien af en ejendom er gennemskuelig, hvilket der kan sættes tvivl til. Et eksempel på dette er rentens indflydelse på ejendomspriserne. Traditionelt vil forståelsen af sammenhængen mellem renten og boligpriserne være, at en højere rente reducerer boligpriserne (Wagner (2005); Skaarup & Bødker (2010)). Der er dog tilfælde, hvor denne sammenhængen ikke er ensartet, hvilket senest gjorde sig gældende under COVID-19 pandemien. I denne periode steg renterne, hvilket traditionelt vil resultere i faldende boligpriser, men boligpriserne var generelt set stigende. Ifølge Danmarks Nationalbank kan årsagen hertil skyldes en øget påskønnelse af bolig (Hetland et al., 2021). Uagtet af årsagen til denne udvikling, illustrerer dette, at der ikke nødvendigvis er en ensartet sammenhæng mellem renten og prisen på ejendomme. Nærværende projekts appendiks 9.11 illustrerer ligeledes, at rentens indflydelse varierer efter område og pris, hvilket er i overensstemmelse med Adolfsen et al. (2022). Samtidig illustrerer figuren, at en højere rente vil have en positiv indflydelse på den vurderede pris for nogle ejendomme. Rentens indflydelse på ejendomsværdien kan derfor have tvetydige sammenhænge både på landsplan og for den enkelte ejendom. Hvis den almene boligejer har en traditionel opfattelse af rentens indflydelse på ejendomsværdien, kræves en medfølgende forklaring på, hvorfor rentens påvirkning ikke altid er forudsigelig. Uagtet om en sådan forklaring gives, medfører samspillet mellem ejendomsvurderingen og samfundsøkonomiske forhold en ekstra dimension af kompleksitet, der kan opfattes som uigennemskuelig for den enkelte boligejer. Hvis boligejere har en opfattelse af, at renten har indflydelse på værdien af deres ejendom, kan det

samtidig virke uigennemskueligt, at dette forhold ikke inkluderes i det offentliges vurdering. Det kan derfor både være uigennemskueligt, at de overordnede økonomiske forhold ikke eksplisit har en indflydelse på vurderingen, mens inkluderingen af disse forhold ligeledes vil afføde sammenhænge, der kan opfattes som uigennemskuelige.

Evnen til at forklare vurderingerne

I projektets afsnit 5.3 illustreres, hvordan SHAP-værdier kan anvendes til at forklare vurderinger af to rækkehuse med afsæt i deres karakteristika. Grundet SHAP-værdiers egenskaber om efficiens og additivitet medvirker de til, at hver vurdering kan beskrives med afsæt i hver ejendoms karakteristika. Hver vurdering vil være et resultat af tillæg eller fradrag fra den gennemsnitlige vurdering. Hertil argumenteres og illustreres det, at anvendelsen trækker paralleller til et lignende beregningseksempel angivet i Engbergudvalget.

Udfordringen pointeret ved tabel 18 er, at ens karakteristika ikke tillægges samme indflydelse, hvilket er i modsætning til beregningseksemplet angivet i Engbergudvalget (appendiks 9.10). For de to rækkehuse angives det, at de hver har seks værelser, men at antallet af værelser trækker vurderingen op for det første rækkehus og ned for det andet rækkehus. I afsnit 5.3 illustreres, hvordan interaktionen mellem placeringen og antallet af værelser kan være en del af årsagen til, at denne forskel forekommer. Denne udfordring opstår grundet ANN-modellers kompleksitet, da de netop opfanger og tillader interaktioner samt ikke-lineære forhold. Interaktionerne vil hæmme gennemsigtigheden, men er ligeledes medforklarende til projektets højere træfsikkerhed. Bør seks værelser tilføre samme tillæg (eller fradrag) til værdien af en ejendom om end denne er placeret på Lolland eller i indre København? Selvom det fremstår intuitivt, at ens karakteristika påvirker værdien forskelligt, er det alligevel en udfordring, da forskellen mellem tillæg (eller fradrag) ved ens karakteristika ikke kan afdækkes fuldstændig. Årsagen er, at forskellen kan bero på en interaktion mellem mange variable, som er svær nøjagtigt at afdække. Trods dette er det alligevel muligt at vise nogle generelle sammenhænge. På den ene side vil denne udfordring unægteligt hæmme gennemsigtigheden af et vurderingssystem baseret på ANN-modeller, da det kræves, at hver enkelt vurdering skal kunne forklares. På den anden side medfører disse interaktioner en mere præcis vurdering, og det er samtidig muligt at afdække visse sammenhænge mellem flere variable. Lavpraktisk er det dog besværligt at afdække sammenhænge i flere dimensioner.

Robert Gloudemans og Paul Sanderson (2021) diskuterer anvendelsen af komplekse modeller i konteksten af vurderingssystemer, hvor SHAP-værdier udgør en central del af overvejelserne omkring brugen af ANN-modeller i vurderingsøjemed. I Gloudemans og Sanderson (2021) anvendes SHAP-værdier til at udføre tilsvarende beregninger og illustrationer som nærværende projekt (tabel 18 og figur 19). I forbindelse hermed konkluderer Gloudemans og Sanderson (2021) overordnet, at ANN-modellers højere træfsikkerhed gør dem relevante i diskussionen om, hvorvidt de kan anvendes til vurderingssystemer, når der eksisterer redskaber som SHAP til at forklare den enkelte vurdering. Gloudemans og Sanderson (2021) lægger vægt på, at det er muligt at se hver variables indflydelse på vurderingerne, både fra et samlet (figur 19) og individuelt (tabel 18) perspektiv. De mener desuden, at dette kan tilvejebringe tilstrækkelig gennemsigtighed. De pointerer dog, at SHAP er en post-hoc forklaring af vurderingerne, der ikke er ligningsbaseret. De mener dog stadig, at ANN-modellers bedre evne til at give mere præcise vurderinger opvejer dette. Gloudemans og Sanderson (2021) påpeger, at de individuelle forklaringer medfører, at "... if one is comfortable with using AI models as a value engine, there are effective techniques for illustrating the impact of each relevant property characteristic on generated values." (Gloudemans & Sanderson, 2021, s. 100). Med dette menes, at det med afsæt i SHAP-værdier er muligt at forklare den enkelte vurdering tilstrækkeligt til at ANN-modeller kan anvendes i vurderingssystemer. Det forudsætter dog, at der er tiltro til den anvendte modeltype, hvilket i høj grad betinges af afvejningen mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed.

Sammenhæng mellem in- og output

Selvom det af foregående afsnit fremgår, at det er muligt at forklare den enkelte ejendomsvurdering med afsæt i dets karakteristika, er SHAP-værdier stadigvæk en post-hoc metode, der fokuserer på at forklare outputtet af ANN-modeller. Egenskaben om sammenhængen mellem in- og output er i Thampi (2022) fokuseret på selve genereringen af vurderingerne. Dette udgør den største forhindring i implementeringen af ANN-modeller til ejendomsvurderinger (Gloudemans & Sanderson, 2021).

I litteraturen vedrørende brugen af ANN-modeller til ejendomsvurderinger, der en generel konsensus om, at ANN-modellers struktur medfører, at der ikke kan skabes en nøjagtig sammenhæng mellem in- og output, fordi de skjulte lag og mange parametre ikke kan fortolkes (IAAO, 2022; McCluskey et al., 2013; Thampi, 2022). De skjulte lag i et neutralt netværk fungerer ved at skabe abstraktioner af det anvendte data, der ikke nødvendigvis er intuitive eller mulige at fortolke (Sivakumar, 2023). Hvordan skal man eksempelvis fortolke hver af de omtrent 55.000 parametre i projektets model for

rækkehuse? I modsætning hertil vil traditionelle regressioner have færre parametre, der oftest bærer en intuitiv økonomisk fortolkning. Netop den manglende fortolkning af ANN-modellers struktur er årsag til, at The International Association of Assessing Officers (IAAO) ikke anbefaler vurderinger foretaget på ANN-modeller. IAAO er tilhænger af traditionelle regressionsmodeller, da de ifølge IAAO er transparente og har et intuitiv format. IAAO lægger i høj grad vægt på, at traditionelle regressionsmodeller er ligningsbaserede, hvilket faciliterer, at de kan forklares eksakt og enkelt, og at vurderingerne dermed kan forsvares. Samtidig påpeges det at de traditionelle regressionsmodeller længe er blevet anvendt og derfor medfører en vis tillid til et automatisk vurderingssystem blandt boligejere (IAAO, 2022). Lignende argumenter angives af McCluskey et al. (2013), der sammenligner hedoniske prismodeller med ANN-modeller. Her påpeges det, at den interne virkning af ANN-modeller ikke kan forklares på trods af, at den konceptuelle struktur kan skitseres og forklares. Ifølge McCluskey et al. (2013) medfører dette, at implementeringen af ANN-modeller udelukkende beror på ”a certain amount of ‘trust’ and/or explicit demonstration of its performance to convince.” (McCluskey et al., 2013, s. 258).

IAAO (2022) og McCluskey et al. (2013) anerkender dog samtidig, at anvendelsen af ANN-modeller i flere tilfælde vil tilvejebringe mere præcise vurderinger, men påpeger, at forbedringerne ikke opvejer de kritiske aspekter af forklarlighed og gennemsigtighed. IAAO (2022) og McCluskey et al. (2013) er derfor også uenige med Gloudemans og Sandersons (2021), der mener, at SHAP medvirker til et tilstrækkeligt niveau af gennemsigtighed. Hverken IAAO (2022) eller McCluskey et al. (2013) inkluderer dog XAI-metoder i deres argumentation.

Selvom SHAP-værdier ikke målrettet forklarer den indre struktur i ANN-modeller, skaber de alligevel en sammenhæng mellem in- og output, der kan vurderes at være tilstrækkelig. Bryce Goodman og Seth Flaxman (2017) diskuterer sort-boks modeltyper i konteksten af gældende Databeskyttelsesforordning (GDPR). Goodman og Flaxman (2017) understreger, at der i GDPR forekommer retten til en forklaring af udfald baseret på automatiske afgørelser. De finder det hertil sandsynligt, at minimumskriteriet for en tilstrækkelig forklaring på algoritmiske afgørelser er, at det kan fremvises, hvordan input relaterer sig til output. Goodman og Flaxman (2017) skriver, at ”It is reasonable to suppose that any adequate explanation would, at a minimum, provide an account of how input features relate to predictions, allowing one to answer questions such as: . . . Which features play the largest role in prediction?”. Andrew Selbst og Julia Powles (2017) er enige i denne

fortolkning af sammenspillet mellem GDPR og automatiske vurderinger, men påpeger hertil, at forklaringerne skal kunne forstås uden teknisk ekspertise og præsenteres på en måde, der tillader boligerne at vurdere, hvorvidt der er grundlag for at modsige vurderingen. Både Goodman og Flaxman (2017) samt Selbst og Powles (2017) er samtidig kritiske over for formuleringen af de gældende GDPR-regler, da det ikke fremgår, hvad der forventes af en forklaring, og om de udelukker anvendelsen af eksempelvis ANN-modeller. Den såkaldte Artikel 29-gruppe, der har bidraget til fortolkningen og udarbejdelsen af GDPR (Akhtar et al., 2021), påpeger ligeledes, at ”I henhold til databeskyttelsesforordningen skal den dataansvarlige give relevante oplysninger om logikken heri og ikke nødvendigvis give en kompliceret forklaring på de anvendte algoritmer eller lægge hele algoritmen frem” (Datatilsynet, 2017). Det udledes heraf, at det ikke er en altafgørende forudsætning for anvendelsen af automatiske modeller, at den præcise struktur af modellen kan beskrives og forklares. Det fremgår ligeledes af Akhtar et al. (2021), at dansk lovgivning, herunder Offentlighedsloven og Forvalningsloven, ikke udelukker brugen af automatiske afgørelser, og at disse samtidig ikke benævner, hvilket niveau af gennemsigtighed, der påkræves, når der træffes automatiske beslutninger. Akhtar et al. (2021) anbefaler derfor også en præcisering af de juridiske vejledninger, der eksplicit påtaler det krævede niveau af gennemsigtighed. Til dette påpeger Akhtar et al. (2021) ligeledes, at det offentlige ikke bør anvende modeller med lav træfsikkerhed, hvis modeller med høj træfsikkerhed eksisterer, men at uigennemsigtige modeller samtidig medfører rettighedsmæssige udfordringer på trods af en høj træfsikkerhed (Akhtar et al., 2021). Når Engbergudvalget benævner gennemsigtighed (afsnit 3.3), refereres til, at der ikke indgår et vurderingsfagligt element, som ved det gamle vurderingssystem. I denne forstand tolkes gennemsigtighed ved, at modellerne baseres på objektive data. Hertil påpeger Engbergudvalget samtidig, at ”Princippet om gennemsigtighed betyder omvendt ikke, at den enkelte ejer vil få præsenteret det komplette beregningsgrundlag for den konkrete vurdering . . . Dertil er statistiske estimeringsmodeller for komplekse” (Skatteministeriet, 2014, s. 68). Trods anvendelsen af en mere gennemsigtig modeltype mener Engbergudvalget tillige ikke, at sammenhængen mellem in- og output er afgørende. Dermed ikke sagt, at der ikke er en vis fordel ved at anvende gennemsigtige modeller, men baseret på ovenstående forstås, at der ikke forekommer et krav til niveauet af gennemsigtighed for den anvendte modeltype. Dette modsiger derfor også argumenterne af IAAO (2022) og McCluskey et. al (2013), hvis største forbehold for implementeringen af ANN-modeller netop er den interne struktur.

Med afsæt i de ovenstående egenskaber ved gennemsigtige modeller kan det argumenteres, at projektets datagrundlag samt anvendelse af SHAP og ANN-modeller til en vis grad opfylder egenskaberne af en gennemsigtig model. Inkluderingen af et samfundsøkonomisk perspektiv medfører en yderligere påvirkning af ejendomsvurderingen, der, relativt til andre karakteristika, er mere kompleks at begrunde. Samtidig vil udeladelsen af et sådan perspektiv stride mod den generelle opfattelse af, at disse forhold har betydning for værdien af en ejendom. Med afsæt i Gloudemans og Sanderson (2022) vurderes det, at SHAP kan anvendes til at beskrive den enkelte vurdering ud fra karakteristika. Interaktionerne medfører hertil, at ens karakteristika påvirker vurderinger anderledes, hvilket mindsker gennemsigtigheden. Trods det er muligt at udvinde visse generelle interaktioner, er det umuligt nøjagtigt at opspore og illustrere sammenhænge i flere dimensioner. På trods af dette vurderer Gloudemans og Sanderson (2022), at SHAP er et tilstrækkeligt redskab, såfremt der anvendes komplekse modeltyper. De mener dog, at det forudsætter en tiltro til modeltypen, hvilket i højere grad stiller tvivl til sammenhængen mellem in- og output. Denne sammenhæng er umuligt at fortolke, da ANN-modeller består af komplekse sammenhænge og mange parametre. Selvom ANN-modeller opnår en højere træfsikkerhed, vurderer IAAO (2022) og McCluskey et al. (2013), at denne gevinst ikke opvejer den unægtelige hæmning af de kritiske aspekter af gennemsigtighed og fortolkningsevne. Det kan hertil anfægtes, hvorvidt den manglende sammenhæng mellem in- og output er nødvendig baseret på de gældende lovmæssige begrænsninger. Med afsæt i minimumskriterierne opstillet af Goodman og Flaxman (2017) opfylder SHAP kravene, stillet af GDPR, tilstrækkeligt. Samtidig pointerer Akhtar et al. (2021), at det offentlige ikke bør anvende mindre træfsikre modeller, såfremt mere træfsikre metoder eksisterer. De påpeger dog samtidig, at komplekse modeltyper medfører særskilte udfordringer og anbefaler, at der opstilles et krav for et tilstrækkeligt niveau af gennemsigtighed.

7 Konklusion

Nærværende projekt undersøger, hvorledes det er muligt at øge træfsikkerheden af ejendomsvurderinger for parcelhuse, ejerlejligheder og rækkehuse ved anvendelse af neurale netværksmodeller. Projektet har i denne henseende anvendt data om 479.356 parcelhuse, 136.930 ejerlejligheder og 84.102 rækkehuse solgt i perioden 2004 til 2023. Hertil opstiller nærværende projekt ét neutralt netværk for hver ejendomstype med formålet om at sammenligne træfsikkerheden heraf med træfsikkerheden præsenteret i Engbergudvalgets udlæg af et nyt vurderingssystem. Projektets modeller medfører overordnet en øget træfsikkerhed, hvor 3.9 pct. flere ejendomme vurderes inden for ± 20 pct. af deres faktiske handelspris. Træfsikkerheden er størst for ejerlejligheder, hvor projektet opnår en forbedring på 4.2 pct., efterfulgt af rækkehuse, hvor projektet opnår en forbedring på 2.2 pct. For parcelhuse opnås ikke en forbedring, da projektets træfsikkerhed er 2.5 pct. lavere. For rækkehuse og parcelhuse opnås en højere træfsikkerhed for de billigste og dyreste ejendomme, mens der for ejerlejligheder opnås en højere træfsikkerhed for de dyreste ejendomme. Hertil findes, at projektets modeller overvurderer billige ejendomme og undervurderer dyre ejendomme. Endvidere har projektets modeller for rækkehuse og ejerlejligheder en forbedret træfsikkerhed på tværs af hele landet, mens projektets model for parcelhuse opnår en forbedret træfsikkerhed for Hovedstads- og Landkommuner. Generelt er projektets modeller mest træfsikre i områder med flest ejendomme.

I projektets forklaring af resultaterne findes nærområdeprisen særlig vigtig for modellernes vurderinger. Det bemærkes, at projektets beregnede nærområdepris for parcelhuse er betydeligt lavere sammenlignet med Engbergudvalgets, hvilket kan forklare, hvorfor projektet ikke opnår en forbedring af træfsikkerheden for parcelhuse. Projektets træfsikkerhed for parcelhuse udfordres tillige af heterogeniteten blandt parcelhuse, mens projektets træfsikkerhed for rækkehuse og ejerlejligheder udfordres af tæthedens i boligmassen.

Projektets testdata er næsten 1.000 pct. større end Engbergudvalgets, hvorfor det kan anfægtes, hvorvidt Engbergudvalgets træfsikkerhed er skalerbar til den påkrævede størrelse af et offentligt vurderingssystem. Samtidig påpeger projektet, at en mulig årsag til projektets tendens til at overestimere billige ejendomme, kan bero på en større andel af salg foretaget på andet end markedsvilkår.

Uagtet modeltypen finder projektet inkluderingen af samfundsøkonomiske variable relevant for ejendomsvurderingerne, hvilket, kombineret med projektets forbedrede træfsikkerhed, medfører en

undren over udeladelsen af disse i det nye vurderingssystem. Hertil finder projektet dog inkluderingen af disse særligt udfordrende for gennemsigtigheden. Projektet påpeger, at inkluderingen af samfundsøkonomiske forhold bidrager med en ekstra dimension af kompleksitet i vurderingens sammenspil med øvrige økonomiske forhold, mens udeladelsen ligeledes kan opfattes som uforstående, hvis det forstås, at disse forhold bør gøre sig gældende. I projektet anvendes SHAP til at kunne forklare vurderingerne fortaget på neurale netværk. Hertil argumenteres det, at denne metode trækker paralleller til beregningseksemplet angivet i Engbergudvalget, men at interaktionseffekter besværliggør forklaringerne af vurderingerne. Ved anvendelse af denne metode er det udfordrende at skabe en forståelse for den præcise udformning af vurderingen, da årsagen kan bero på interaktioner mellem mange karakteristika. Det argumenteres hertil, at netop disse interaktioner kan være medvirkende til projektets højere træfsikkerhed, hvorfor adopteringen af neurale netværk til ejendomsvurderinger i højere grad stiller tvivl til sammenhængen mellem in- og output. I denne forbindelse argumenterer projektet for, at den præcise sammenhæng mellem in- og output ved neurale netværk er for kompleks til at kunne fortolkes. Denne manglende sammenhæng udgør dog ikke nødvendigvis en begrænsning for dets anvendelse til ejendomsvurdering, når projektet anvender metoder til at kunne beskrive den enkelte vurdering. Projektet konkluderer derfor, at brugen af neurale netværk kan anses som en lovende tilgang til ejendomsvurderinger under visse betingelser, men også med klare forbehold, hvad angår afvejningen mellem træfsikkerhed og gennemsigtighed.

8 Litteratur

- Abdullah, T. A. A., Zahid, M. S. M., & Ali, W. (2021). A review of interpretable ml in healthcare: Taxonomy, applications, challenges, and future directions. *Symmetry (Basel)*, 13(12), 2439. 10.3390/sym13122439
- Aboze, B. J. (2023, maj 16.). *A Comprehensive Guide into SHAP (SHapley Additive exPlanations) Values*. DeepChecks. Lokaliseret maj 1, 2024, fra <https://deepchecks.com/a-comprehensive-guide-into-shap-shapley-additive-explanations-values/>
- Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160. 10.1109/ACCESS.2018.2870052
- Adolfsen, J. F., Mørch Mønsted, B., Michael, A., Schmith, B., Tang, A., Martinello, A., Gudiksen, S., Kasper, F., & Sonberg. (2022). *Segmentation of the Housing Market with Internet Data: Evidence from Denmark*
- Aibin, M. (2023, mar 18.). *Euclidean Distance vs Cosine Similarity*. Lokaliseret maj 1, 2024, fra <https://www.baeldung.com/cs/euclidean-distance-vs-cosine-similarity>
- Akhtar, M., Thomsen, F. K., Jørgensen, R. F., & Kock, P. B. (2021). *Når algoritmer sagsbehandler - Rettigheder og retssikkerhed i offentlige myndigheders brug af profileringssmodelle*. Institut for Menneskerettigheder. s. 69-105.
- Ambrosius, T. (2023, feb 10.). Hundredtusindvis af boligejere bliver ramt af pilskæve ejendomsvurderinger: Sådan skal du reagere. *BT.dk*. Lokaliseret maj 10, 2024 fra, <https://www.bt.dk/forbrug/hundredtusindvis-af-boligejere-bliver-ramt-af-pilskaeve-ejendomsvurderinger-saadan>
- ArcGIS. (2012, mar 22.). *Basic Principles*. Lokaliseret apr 1, 2024, fra <https://help.arcgis.com/en/geodatabase/10.0/sdk/arcsde/concepts/geometry/coordref/coordsys/basicprinciples/basicprinciples.htm>
- Babs, T. (2018, jul 14.). *The Mathematics of Neural Networks*. Medium. Lokaliseret apr 1, 2024, fra <https://medium.com/coinmonks/the-mathematics-of-neural-network-60a112dd3e05>
- Bach-Nielsen, P. C. (2023a, december,). Ekspert kritiserer SKATs mørklægning af algoritmer til boligvurderinger. *Radar*. Lokaliseret apr. 28, 2024, fra <https://radar-dk.zorac.aub.aau.dk/artikel/ekspert-kritiserer-skats-moerklaegning-af-algoritmer-til-boligvurderinger>
- Bach-Nielsen, P. C. (2023b, september,). Leder af Magtudredning: Skat skal lægge algoritmer bag nyt boligvurderingssystem frem for offentligheden. *Radar*. Lokaliseret apr. 26, 2024 fra <https://radar-dk.zorac.aub.aau.dk/artikel/leder-af-magtudredning-skat-skal-laegge-algoritmer-bag-nyt-boligvurderingssystem-frem-offentligheden>

Bentzen, T. Ø. (2023, september,). Lektor: Ejendomskaos er en tikkende bombe under danskernes tillid. *Altinget*. Lokaliseret mar. 15, 2024 fra <https://www.altinget.dk/by/artikel/lektor-ejendomskaos-er-en-tikkende-bombe-under-danskernes-tillid>

Boliggiden. (2016, Nov 16,). *Vi lader os ikke skræmme af dødsbo*. BoligSiden. Lokaliseret maj 4, 2024, fra <https://www.boligsiden.dk/nyheder/boligen/vi-lader-os-ikke-skraemme-af-doedsbo>

Boye, M. (2019, juni 20,). Ejendomsvurdering med neuralt netværk: Efter tre måneder slog den model, vi har brugt i årti. *Ingeniøren*. Lokaliseret apr. 17, 2024 fra <https://pro.ing.dk/datatech/artikel/ejendomsvurdering-med-neuralt-netvaerk-efter-tre-maaneder-slog-den-model-vi-har>

Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., & Charlton, M. E. (1996). Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), 284-288. 10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x

Cajias, M., & Ertl, S. (2018). Spatial effects and non-linearity in hedonic modeling: Will large data sets change our assumptions? *Journal of Property Investment & Finance*, 36(1), 32-49. 10.1108/JPIF-10-2016-0080

Çılgın, C., & Gökçen, H. (2023). Machine learning methods for prediction real estate sales prices in Turkey. *Revista De La Construcción (Universidad Católica De Chile)*, 22(1), 163-177. 10.7764/RDLC.22.1.163

Clark, M. (2022, jul 16,). *Generalized Additive Models*. Lokaliseret mar 1, 2024, fra <https://m-clark.github.io/generalized-additive-models/preface.html>

Cooper, A. (2022, dec 31,). *How Shapley Values Work*. Impromptu Engineer. Lokaliseret maj 1, 2024, fra <https://www.aidancooper.co.uk/how-shapley-values-work/>

Datatilsynet. (2017). *Artikel 29-gruppen vedrørende databeskyttelse WP251rev.01*. Datatilsynet. s. 21-28

Do, A. Q., & Grudnitski, G. (1992). A neural network approach to residential property appraisal. *The Real Estate Appraiser* (1991), 58(3), 38-45

DØRS. (2016). *Dansk Økonomi - Forår 2016*. Rosendahls-Schultz Distribution. s. 248-257

DØRS. (2023). *Dansk økonomi - Efterår 2023*. Rosendahls-Schultz Distribution. s. 22-25

Ejendomsvurderingsloven. Kapitel 4, §§15-18. Lokaliseret mar. 8, 2024, fra <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/654>

epsg.io. (2024), *EPSG:25832*. epsg.io. Lokaliseret mar. 1, 2024, fra <https://epsg.io/25832>

Glarvig, M. (2015, aug 31,). *Ejendomsværdimodellering i finanssektoren*. Geomatic. Lokaliseret mar. 4, 2024 fra

https://www.dst.dk/Site/Dst/SingleFiles/GetArchiveFile.aspx?fi=1097134269&fo=0&ext=form_id

Gloudemans, R., & Sanderson, P. (2021). The Potential of Artificial Intelligence in Property Assessment. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*, 18(2), 87-106. <https://search.proquest.com/docview/2621175192>

Goodman, B., & Flaxman, S. (2017). European Union Regulations on Algorithmic Decision Making and a “Right to Explanation”. *The AI Magazine*, 38(3), 50-57. 10.1609/aimag.v38i3.2741

Gregersen, K. (2022, Jan 12.). *Se, hvad din og naboen's bolig er værd*. Bolius. Lokaliseret mar, 1 2024, fra <https://www.bolius.dk/se-hvad-din-og-naboen-s-bolig-er-vaerd-29645>

Gudimalla, V. (2021, august 25.). *Concept of Gradient Descent in Machine Learning*. Medium. Lokaliseret april, 2024, fra <https://varshithagudimalla.medium.com/concept-of-gradient-descent-algorithm-in-machine-learning-44f587ac16ac>

Gundersen, G. (2022, maj 17.). *Exponential Decay*. Gregorygundersen.com. Lokaliseret mar 1, 2024, fra <https://gregorygundersen.com/blog/2022/05/17/exponential-decay/>

Handayani, A. P., Deliar, A., Sumarto, I., & Syabri, I. (2019). Inverse Distance Weighting interpolation on the optimum distribution of kernel - Geographically Weighted Regression for land price. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 389(1), 12031. 10.1088/1755-1315/389/1/012031

Hansen, F. M. (2020, okt 7.). Banker vil vurdere boligpriser med AI. *Ingeniøren*. Lokaliseret apr 10, 2024 fra <https://www-version2-dk.zorac.aub.aau.dk/artikel/banker-vil-vurdere-boligpriser-med-ai>

Hansen, J. Z., & Iversen, A. Ø. (2023). *Prisen på ejerboliger 1992-2021*. DREAM. s. 1-118

Hansen, J. Z., Stephensen, P., & Iversen, A. Ø. (2018). *Ejerboliger i det 21. århundrede: En husstandsbaseret undersøgelse af boligkapitalgevinst og ejerboligbeskatning i perioden 2000-15*. DREAM. s. 121-130

Hetland, S. T., Hvid, S. J., Pedersen, J., & Schmidt, A. M. B. (2021). *Robustheden på boligmarkedet bør styrkes*. Danmarks Nationalbank <https://www.nationalbanken.dk/media/mh4c2mfl/analyse-nr-16-robustheden-paa-boligmarkedet-boer-styrkes.pdf>

Høegh, M. (2024, jan 17.). *Aktindsigt gør ejendomsvurdering til sort snak*. Jyskebank.dk. Lokaliseret maj 2, 2024, fra <https://www.jyskebank.dk/nyt/privatoekonomi/aktindsigt-goer-ejendomsvurdering-til-sort-snak>

Horn, U. (2020, oktober,). Vilde tal: Nye ejendomsvurderinger rammer helt uden for skiven for 29 pct af alle danske huse. *Børsen* <https://borsen-dk.zorac.aub.aau.dk/nyheder/politik/vilde-tal-nye-ejendomsvurderinger-rammer-helt-uden-for-skiven-for-29-pct-af-alle-danske-huse>

IAAO. (2022). A Review of the Methods, Applications, and Challenges of Adopting Artificial Intelligence in the Property Assessment Office. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*, 19(1), 21-80.

Ingvorsen, E. S., Kielgast, N., Hecklen, A., & Ussing, J. (2023a, sep. 18.). 82.600 salgspriser afslører: Hver tredje ejendomsvurdering er meget skæv. *DR.dk*. Lokaliseret mar. 18, 2024 fra <https://www.dr.dk/nyheder/penge/82600-salgspriser-afsloerer-hver-tredje-ejendomsvurdering-er-meget-skaev>

Ingvorsen, E. S., Ussing, J., Hecklen, A., & Ørskov, O. (2023b, sep. 8.). Har kostet milliarder af kroner - nu viser interne papirer et system af 'forbløffende' lav kvalitet. *DR.dk*. Lokaliseret apr. 5, 2024 fra <https://www.dr.dk/nyheder/penge/har-kostet-milliarder-af-kroner-nu-viser-interne-papirer-et-system-af-forbloeffende>

Kirkebæk-Johansson, L. (2023, september 19.). Jakob købte sit hus for fem millioner. Fire måneder senere var det syv millioner værd ifølge Skattevæsnet. *DR.dk*. Lokaliseret maj 5, 2024 fra <https://www.dr.dk/nyheder/penge/jakob-koebte-sit-hus-fem-millioner-fire-maaneder-efter-blev-det-vurderet-til-syv>

Knudsen, J., & Hansen, S. H. (2017, jun 1.). e-værdi gives accurate property valuations. *Copenhagen Fintech Magazine*, s. 28-29. https://issuu.com/reach-media/docs/06_juni_copenhagen_fintech_samlet

Langen, M. (2019, apr 16.). *Creating powerfull LOWESS graphs in Python*. Medium. Lokaliseret apr 1, 2024, fra <https://mike-langen.medium.com/creating-powerfull-lowess-graphs-in-python-e0ea7a30b17a>

Liga, D. (2022). *The Interplay Between Lawfulness and Explainability in the Automated Decisionmaking of the EU Administration*. University of Luxembourg Law Research Paper No. 2023-12, 1-13. 10.2139/ssrn.4561012

Mathiesen, P., & Jeppesen, P. (2023, okt 12.). Afsløring: Syv ud af ti vurderinger dumper. *Ekstrabladet.dk*. Lokaliseret maj 5, 2024, fra <https://ekstrabladet.dk/nyheder/politik/danskpolitik/afsloering-syv-ud-af-ti-vurderinger-dumper/9975168>

McCluskey, W. J., McCord, M., Davis, P. T., Haran, M., & McIlhatton, D. (2013). Prediction accuracy in mass appraisal: a comparison of modern approaches. *Journal of Property Research*, 30(4), 239-265. 10.1080/09599916.2013.781204

Molnar, C. (2022). Interpretable Machine Learning (2 udg.). christophm.github.io/interpretable-ml-book/

Moolayil, J. (2019). Deep Neural Networks for supervised learning: regression. In *Learn Keras for Deep Neural Networks: A Fast-Track Approach to Modern Deep Learning with Python*. Apress. s.53-99

- Neupert, S. (2023, nov 14.). 100.000 vurderinger ændret: - Det er jo stadigvæk helt på månen, siger husejer. *TV2.dk*. Lokaliseret maj 28, 2024 fra <https://nyheder.tv2.dk/business/2023-11-14-100000-vurderinger-aendret-det-er-jo-stadigvaek-helt-paa-maanen-siger-husejer>
- Nguyen, N., & Cripps, A. (2001). Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks. *The Journal of Real Estate Research*, 22(3), 313-336. 10.1080/10835547.2001.12091068
- Noureddine, K., Mohammed, A., Santos, C. A. G., Abdelkader, D., Abdelhamid, B., & Nascimento, V. (2020). *Spatial modeling of soil salinity using multiple linear regression, ordinary kriging and artificial neural network methods in the Lower Cheliff plain, Algeria*. Journal of Urban and Environmental Engineering. 10.4090/juee.2019.v13n1.034041
- Perry, N. (2023, aug 14.). *What are AVMS in real estate?* Orchard. Lokaliseret mar. 11, 2024, fra <https://orchard.com/blog/posts/what-are-avms-in-real-estate>
- Petersen, N. S. (2018, aug 20.). E-nettet vil bane vej for kunstig intelligens. *Finansforbundet*. Lokaliseret apr. 16, 2024 fra <https://finansforbundet.dk/dk/nyheder/2018/e-nettet-vil-bane-vej-for-kunstig-intelligens/>
- Peterson, S., & Flanagan, A. B. (2009). Neural Network Hedonic Pricing Models in Mass Real Estate Appraisal. *The Journal of Real Estate Research*, 31(2), 147-164. 10.1080/10835547.2009.12091245
- Pipal, S. (2023, nov 16.). *What is Feature Scaling and Why Does Machine Learning Need It?* Medium. Lokaliseret apr. 1, 2024, fra <https://medium.com/@shivanipickl/what-is-feature-scaling-and-why-does-machine-learning-need-it-104eedebb1c9>
- Rigsrevisionen. (2013). *Beretning til Statsrevisorerne om den offentlige ejendomsvurdering*. s. 1-60
- Root, T. H., Strader, T. J., & Huang, J. (2023). A Review of Machine Learning Approaches for Real Estate Valuation. *Journal of the Midwest Association for Information Systems*, 2023(2), 9-28. 10.17705/3jmwa.000082
- Rosengren, E., & Olrik, M. (2023, sep 20.). Det tog os en uge. Men nu har vi vistnok fundet ud af, hvad i alverden der foregår med de ejendomsvurderinger. *Zetland.dk*. Lokaliseret apr. 17, 2024 fra <https://www.zetland.dk/historie/sOPAEN7m-a8dGXQ45-44d5a>
- Selbst, A. D., & Powles, J. (2017). Meaningful information and the right to explanation. *International Data Privacy Law*, 7(4), 233-242. 10.1093/idpl/ixp022
- Selim, H. (2009). Determinants of house prices in Turkey: Hedonic regression versus artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2843-2852. 10.1016/j.eswa.2008.01.044

- Shekhawat, S. (2023, Mar 14.). *The Significance of Distance and Similarity measures in Clustering*. Medium. Lokaliseret maj 7, 2024, fra <https://medium.com/aiskunks/the-significance-of-distance-and-similarity-measures-in-clustering-bc9ec9292082>
- Singh, G. (2024, januar 15.). *Artificial Neural Network: A Step-by-Step Guide*. AnalyticsVidhya. Lokaliseret apr. 13, 2024 fra <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/09/introduction-to-artificial-neural-networks/>
- Sivakumar, D. (2023, maj 4.). *Introduction to Feed Forward Neural Network*. Scaler. Lokaliseret apr 9, 2024 fra <https://www.scaler.com/topics/deep-learning/introduction-to-feed-forward-neural-network/>
- Skaarup, M., & Bødker, S. (2010). *House prices in Denmark: are they far from equilibrium?* Finansministeriet. 1-26. https://fm.dk/media/14847/arbejdspapir_House_Prices_2010_21.pdf
- Skatteministeriet. (2014). *Forbedring af ejendomsvurderinger*. Rosendahls-Schultz Distribution. s. 1-247 https://skm.dk/media/Skatteministeriet/Dokumenter/PDF'er/forbedring-af-ejendomsvurderingen_web.pdf
- Skatteministeriet. (2016). *Nye og mere retvisende ejendomsvurderinger*. ImplementeringsCenter for Ejendomsvurderinger. s. 1-35 <https://www.regeringen.dk/media/2454/nye-og-mere-retvisende-ejendomsvurderinger.pdf>
- Skatteministeriet. (2021). *Skatteøkonomisk redegørelse 2021*. Skatteministeriet. s. 163-191 <https://skm.dk/aktuelt/publikationer/rapporter/skatteoekonomisk-redegoerelse-2021>
- Skatteministeriet. (2023a). *Status på ejendomsområdet*. Skatteministeriet. <https://www.ft.dk/samling/20222/almdel/SAU/bilag/254/2756263.pdf>
- Skatteministeriet. (2023b). *Svar på spørgsmål nr. 72 af 15. maj 2023*. <https://www.ft.dk/samling/20222/lovforslag/L113/spm/72/svar/1960173/2712061/index.htm>
- Srinivasan, A. (2019, september 7.). *Stochastic Gradient Descent — Clearly Explained*. Medium. Lokaliseret april, 2024, fra <https://towardsdatascience.com/stochastic-gradient-descent-clearly-explained-53d239905d31>
- Stang, M., Krämer, B., Nagl, C., & Schäfers, W. (2023). From human business to machine learning—methods for automating real estate appraisals and their practical implications. *Zeitschrift Für Immobilienökonomie*, 9(2), 81-108. 10.1365/s41056-022-00063-1
- StatExchange. (2017, maj 23.). *How to calculate rate parameter in Exponential distribution?* Stackexchange.com. Lokaliseret mar 1, 2024 fra <https://math.stackexchange.com/questions/1875135/how-to-calculate-rate-parameter-in-exponential-distribution>

Štubňová, M., Urbaníková, M., Hudáková, J., & Papcunová, V. (2020). Estimation of residential property market price: comparison of artificial neural networks and hedonic pricing model. *Emerging Science Journal*, 4(6), 530-538. 10.28991/esj-2020-01250

Tay, D. P. H., & Ho, D. K. H. (1992). Artificial Intelligence and the Mass Appraisal of Residential Apartments. *Journal of Property Valuation & Investment*, 10(2), 525-540. 10.1108/14635789210031181

Thampi, A. (2022). *Interpretable AI: Building Explainable Machine Learning Systems* (1 udg.). Manning Publications Co. LLC. s. 21-119

Voxmeter. (2023, sep. 22.). To ud af tre har mistillid til de nye ejendomsvurderinger. Vowmeter.dk. Lokaliseret mar. 28, 2024 fra <https://voxmeter.dk/to-ud-af-tre-har-mistillid-til-de-nye-ejendomsvurderinger/>

Vurderingsstyrelsen. (2024). *Vurderingsportalen*. Lokaliseret mar. 11, 2024, fra <https://www.vurderingsportalen.dk>

Wagner, R. (2005). En model for de danske ejerboligpriser. *Økonomi–og Erhvervsministeriets Arbejdspapir*, (1) s. 1-25

Wisam, E. (2021, september 21.). *Backpropagation: The simple Proof*. TowardsDataScience. Lokaliseret apr. 21, 2024 fra <https://towardsdatascience.com/backpropagation-the-natural-proof-946c5abf63b1>

Wolfewicz, A. (2023, feb 15.). *Deep Learning vs. Machine Learning – What's The Difference?* Levity.ai. Lokaliseret apr 1, 2024, fra <https://levity.ai/blog/difference-machine-learning-deep-learning>

Wood, S. N. (2017). Introducing GAMs. *Generalized additive models: an introduction with R* (Second edition udg., s. 161-191). Chapman & Hall.

9 Appendiks

9.1 Engbergudvalget variable i modeller:

Variabel	Parcelhusmodel	Rækkehushusmodel	Ejerlejlighedsmodel
Afstand til højspændingsledninger	X		X
Afstand til hovedvej	X		
Afstand til jernbane	X		
Afstand til kysten	X	X	
Afstand til landevej	X		
Afstand til motorvej	X	X	
Vandforsyning	X		
Kommune	X	X	X
Første række til kyst	X		
Ombygningsalder	X		
Opførselsår	X	X	X
Opvarmningsmiddel	X		
Første række til sø	X		
Tagmateriale	X		
Supplerende varmemiddel	X		
Ydervægsmateriale	X		
Zone i plansystem	X		
Tidspunkt for salg	X		X
Antal badeværelser	X		
Antal carporte	X		
Antal toiletter	X		
Areal af carport	X		
Areal af garage	X		
Areal af grunden	X		
Areal af indbygget udhus	X		
Areal af kælder under 125m ²	X	X	
Areal af samlet bebyggelse	X		
Areal af udestue	X		
Areal af udnyttet tagetage	X		
Bebygget areal	X		
Boligareal	X	X	

Boligareal (kvadrerede form)	X	X	
Havudsigt	X		X
Nærområdepris (i kr/m ²)	X		
Nærområdepris (kvadrerede kr/m ²)	X		
Nærområdepris (opskaleret med areal)	X	X	X
Spredning i nærområdepris	X		X
Søudsigt	X		
Kode for energi			X
Etageplacering			X
Antal etager i moderejendom			X
Antal værelser			X
Kilde: Skatteministeriet (2014, s. 230 - 243)			

9.2 Projektets datagrundlag

I nedenstående tabel fremgår en beskrivelse af projektets anvendte datagrundlag, eventuel filtrering heraf, hvilke datakilder oplysningerne kommer fra og hvilke variable der anvendes i projektets modeller for den enkelte ejendomstype. *P* i nedenstående tabel angiver model for parcelhuse, *R* angiver rækkehuse og *E* angiver ejerlejligheder. *F* angives hvis frasorteret som følge af reducering af træfsikkerhed jævnfør afsnit 4.3.2

Variabel	Kilde	Beskrivelse	P	R	E
Handelspris	Boliga	Fremskrevet handelspris som ejendommen er solgt for, udtrykt ved kr./m ² . Heraf er udført en filtrering, således ejendomme solgt for over 100 mio. kr. (i samlet handelspris) frasorteres i overensstemmelse med Adolfsen et al. (2022)	X	X	X
Antal værelser	Boliga	Angiver antallet af værelser i boligen. Heraf er udført en filtrering, således ejendomme med mere end 20 værelser frasorteres i overensstemmelse med Adolfsen et al. (2022)	X	X	X
Opførselsår	Boliga	Angiver året hvor boligen er bygget. Heraf er udført en filtrering, således ejendomme bygget før år 1200 frasorteres i overensstemmelse med Adolfsen et al. (2022).	X	X	X
Etager i moderejendommen	BBR	Angiver antallet af etager i moderejendommen som ejerlejligheden er placeret i. Dvs. antallet af etager i opgangen.			X
Boligareal	Boliga	Angiver arealet af boligen udtrykt i m ² . Heraf er udført en filtrering, således ejendomme med areal over 1000 m ² frasorteres i overensstemmelse med Adolfsen et al. (2022).	X	X	X
Badeforhold	BBR	Angiver badeforholdet i boligen, dvs. om der er adgang til badeværelse i eller udenfor boligen eller slet ikke.			F
Toiletforhold	BBR	Angiver toiletforholdet i boligen, dvs. om der er adgang til toilet i eller udenfor boligen eller slet ikke.			F
Tagmateriale	BBR	Angiver materialet boligens tag består af. Mest almindelig er <i>fibercement herunder asbest, tegl eller betontagsten</i> . For ejerlejligheder dækker denne moderejendommen.	X	X	X
Ydervægsmateriale	BBR	Angiver materialet af ydervæggen på bygningen. Mest almindelig er <i>Mursten eller Betonelementer</i> . For ejerlejligheder er dækker denne moderejendommen.	X	X	X
Varmeinstallation	BBR	Angiver den primære varmeinstallation i ejendommen. Mest almindelig er <i>fjernvarme/blokvarme, centralvarme med én fyringsenhed eller varmepumpe</i> .	X	X	X

Antal etager i boligen	BBR	Angiver antallet af plan/etager i boligen. Antallet angives inkl. stueetage og mansardetage, men er eksl. tagetage og kælder.	X	X	X
Om-/Tilbygningsår	BBR	Angiver året for seneste væsentlige om- og/eller tilbygning. Væsentlig er i BBR defineret som en værdiforøgelse på min. 15 pct.	X	X	X
Opvarmningsmiddel	BBR	Angiverarten af opvarmningsmiddel, der anvendes til boligens eget anlæg. Derfor angives denne kun ved bestemt typer af varmeinstallationer, eksempelvis centralvarme. Mest almindelig er <i>Ingen eller Naturgas</i> .	X	X	X
Areal af indbygget carport	BBR	Angiver arealet af eventuelt indbygget carport, der er indrettet til parkering og som ikke har begrænsende vægge på alle sider. Heraf skal arealet være under samme tagkonstruktion som øvrig bebyggelse.	X	X	
Supplerende varmekilde	BBR	Angiver bygningens supplerende varmekilde og angives når bygningen udover den hovedsagelige varmeinstallation opvarmes af en supplerende varmekilde. Mest almindelig er <i>Ingen eller brændeovn eller lign med skorsten</i> .	X	X	X
Areal af indbygget udhus	BBR	Angiver arealet af et udhus, der ligger inden for bygningens ydervægge og under samme tagkonstruktion.	X	X	
Areal af indbygget garage	BBR	Angiver arealet af et lukket areal, indrettet til parkering. Areal er inden for bygningen ydermure og under samme tagkonstruktion som boligen.	X	X	
Energimærke	Energi-styrelsen	Angiver ejendommens energimærke, der beskriver dets energiforbrug, hvor <i>A2020</i> er mest energivenlig efterfulgt af <i>A2015, A2010, B, C, D, E, F og G</i> , der er mindst energivenlig. I projektet anvendes kun betegnelserne A til G, der tillige får en numerisk værdi fra 1 til 8, hvor G får værdien 1 og A får værdien 8. Således er højere værdi lig mere energivenlig. Filtrering af manglende energimærke reducere projektets data med omrent 200 000 ejendomme.	X	X	X
Areal af indbygget udestue eller lign.	BBR	Angiver arealet af indbygget udestue eller lign., som ikke kategoriseres som udhus. En udestue er en overdækket lukket konstruktion.	X	X	
Kælderareal	BBR	Angiver arealet af eventuel registreret kælder. Såfremt ingen kælder angives værdien 0. Ejelerligheder antages ikke at have kælder.	X	X	
Grundstørrelse	BBR	Angiver arealet af grunden bygningen er placeret på. Såfremt ingen tilhørende grund angives værdien 0. Ejelerligheder antages ikke at have grund.	X	X	
(Ekstern) Garage	BBR	Angiver hvorvidt ejendommen har tilknyttet garage (1) eller ej (0), der er placeret udenfor bygningens ydermure og ikke under samme tagkonstruktion som boligen.	X	X	

(Ekstern) Carport	BBR	Angiver hvorvidt ejendommen har tilknyttet carport (1) eller ej (0), der er placeret udenfor bygningens ydermure og ikke under samme tagkonstruktion som boligen, samt registreret indrettet til parkering.	X	X	
(Ekstern) Udhus	BBR	Angiver hvorvidt ejendommen har tilknyttet udhus (1) eller ej (0), der er placeret udenfor bygningens ydermure og ikke under samme tagkonstruktion som boligen.	X	X	
Antal badeværelser og toiletter	BBR	Angiver samlet antal badeværelser og toiletter i bygningen / boligen. Her tælles antallet af installeret brusekabiner og vandskyllende toiletter.	X	X	X
Fritliggende overdækning	BBR	Angiver om ejendommen har et fritliggende åbent overdækket areal (1) eller ej (0). Dette kan eksempelvis være strandpavillon eller tehus.	X	X	
Fritliggende udestue	BBR	Angiver om ejendommen har et fritliggende lukket udestue (1) eller ej (0) dvs. en udestue udenfor boligen.	X	X	
Kyst	Geo-Danmark	Kysten er angivet som grænsen mellem land og hav.	X	X	X
Indkøbsmulighed	DinGeo	Angiver supermarkeder, der sælger dagligvare.	X	X	X
Normalvej	Geo-Danmark	Angiver veje der betegnes som fordelingsruter eller gennemfartsruter, dvs. veje der betegner trafik mellem landsdele eller større bysamfund og mellem bysamfund og eller større bydele.	X	X	X
Hovedvej	Geo-Danmark	Angiver veje der betegnes som motorveje eller motortrafikveje.	X	X	X
Vindmølle	Energi-styrelsen	Angiver vindmøller placeret på land med en kapacitet på over 200 kW.	X	X	X
Skole	Børne- og undervisningsministeriet	Angiver skoler og institutioner for uddannelse. Herunder eksempelvis folkeskoler, friskoler, gymnasier, internationale skoler, efterskoler og flere. Gruppebetegnelser for de skoler der indgår, er grundskoler, almenengymnasiiale uddannelser, voksenuddannelsesinstitutioner, erhvervsrettede uddannelser og videregående uddannelser.	X	X	X
Børnehave og daginstitutioner	Institutioner.dk	Dækker over vuggestuer og børnehaver som betegnet på institutioner.dk hjemmeside. Bemærk at det ikke er datospecifik.	X	X	X
Station	Geo-Danmark	Af- og påstigningssted for skinnebåret persontransport dvs. metro og togstationer.	X	X	X
Jernbane	Geo-Danmark	Dækker over synlige jernspor, dvs. jernsport placeret over jorden og inkluderer både metro, S-tog, letbane og øvrige.	X	X	X
Højspændings-ledning	Geo-Danmark	Højspændingsledninger ophængt på stål- eller parvise træmaster.	X	X	X
Skov	Geo-Danmark	Angiver træbevokset område på minimum 2 500 m ² .	X	X	X

Sø	Geo-Danmark	Angiver en vandfyldt fordybning på land, der dækker minimum 100 m ²	X	X	X
Vandløb	Geo-Danmark	Angiver midten af en naturlig eller gravet rende af vand.	X	X	X
Kommune	Boliga	Angiver ejendommens kommune ud af Danmarks 98 kommuner.	X	X	X
Sidste salgspris	Boliga	Her menes den sidste salgspris foruden variablen <i>Handelspris</i> . Dvs. det næst sidste salg af ejendommen. Er på lige fod med <i>Handelsprisen</i> fremskrevet, men er i modsætning hertil opgjort i komplet salgspris og derfor ikke kr./m ² som <i>Handelspris</i> . Salg skal ligeledes være betegnet som frit salg og være foretaget i perioden 2000 til 2023.	X	X	X
Sidste salgsdato	Boliga	Betegner datoén for sidste salg (se ovenstående). Er opgjort i numerisk betegnelse, således eksempelvis 20. marts 2017 angives som 2017.22	X	X	X
Nærområdepris	Egen beregning	Beregnet efter afsnit 4.2.2. Som input anvendes <i>Handelspris</i> , men her anvendes ejendomme der ellers var filteret såfremt ingen manglende karakteristika. Dvs. selvom ejendom mangler energimærke, anvendes dets pris og placering i denne beregning. Inputstørrelse er derfor omrent 980 000 ejendomme.	X	X	X
Dato for salg	Boliga	Betegner datoén for salget knyttet til <i>Handelspris</i> , efter samme forskrifter som <i>Sidste salgsdato</i> .	X	X	X
Renten	Finans-damark	Angiver den lange obligationsrente i ugentlig opgørelse. Den pågældende rente er tilknyttet hver ejendom efter ugen den pågældende ejendom er handlet i jævnfør <i>Dato for salg</i> .	X	X	X
BNP	DST	Angiver real-BNP i 2010-priser på årlig basis. Datasæt betegnelse på Danmarks statistik (DST) er NAN1.	X	X	X
Udbud	Finans-danmark	Angiver antallet af udbudte ejendomme efter ejendomskategori om kommune opgjort på månedlig basis. Parcelhuse og rækkehusे betegnes af Finansdanmark under samme, således værdier for disse er ens. Antallet af udbudte ejendomme er tilknyttet hver ejendom efter <i>Dato for salg</i> og <i>Kommune</i> og angiver antallet af udbudte ejendomme. Datasæt betegnelse på Finansdanmark er UDB010	X	X	X
Samlet antal variable			44	44	34

9.3 Nærrområdepris: Gennemgang af metoder til vægtning

Som nævnt i afsnit 4.2.2 er der i projektet afprøvede flere forskellige metoder til at vægte referenceejendomme i beregningen af den enkelte ejendoms nærrområdepris, herunder Bisquare-, Gaussian-, eksponentiel--, lineær- og IDW. Vægtene angivet ved disse anvendes til at beregne et vægtet gennemsnit af referenceejendommens pris. Alle vægte er kendtegnet ved at vægte de nærmeste referenceejendomme mere end dem placeret længere væk. I følgende vil den matematiske formulering af de enkelte vægte være gennemgået. Det bør nævnes, at alle distancerne mellem en ejendom og referenceejendomme er tillagt en meget lille værdi ved $1e - 6$, da vægte for distancer på 0 meter ikke vil kunne beregnes. Dette vil oftest være gældende for ejerlejligheder i samme opgang.

Bisquare vægtning:

Bisquare er den kernefunktion, der tillige er anvendt i Hansen og Iversen (2023) til deres GWR. Formlen for beregningen af vægtene for Bisquare fordelingen er givet ved formlen:

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}^2}{D^2}\right)\right)^2 & \text{hvis } d_{ij} < D \\ 0 & \text{hvis } d_{ij} \geq D \end{cases}$$

Hvor vægtene w_{ij} mellem den pågældende ejendom i og referenceejendom j er beregnet ved $[1 - d_{ij}^2/D^2]^2$ hvis distancen d_{ij} er mindre end en eksogent angivet grænseværdi D og 0 ellers (Brunsdon et al., 1996). Det vil sige, at det kun er referenceejendomme indenfor en vis grænseværdi i meter, der får tillagt en vægt i beregningen af den gennemsnitlige kvadratmeterpris (Hansen & Iversen, 2023). På denne måde sikres det, at der kun tages højde for lokale forhold i beregningen. Grænseværdien er sat til den fjernehste referenceejendom med afsæt i Hansen og Iversen (2023).

Gaussisk vægtning:

Denne er også nævnt i Hansen og Iversen (2023) som alternativ til Bisquare, da den tillige arbejder ud fra en eksogent angivet søgeradius. Formlen for beregning af denne er:

$$w_{ij} = a * \exp\left(-\frac{(d_{ij} - b)^2}{2c^2}\right)$$

Hvor vægtene w_{ij} er bestemt ud fra a , som angiver kurvens toppunkt, b angiver toppunktets placering på x-aksen og c afgør spredningen eller søgeradiussen, der er eksogent angivet. a og b er fastsat til

henholdsvis 1 og 0. Søgeradiussen er tillige optimeret ved at undersøge MAE ved skiftende værdier manuelt.

Eksponentiel vægtning:

Denne vægtning følger en eksponentiel fordeling hvor vægtene aftager efter afstand efter en givet aftagningsværdi. Denne vægtning prioriterer i større omfang referenceejendomme tættere på den pågældende, ved at have eksponentielt aftagende vægte ved fastsat konstant (Gundersen, 2022). Den eksponentielle vægt beregnes ved:

$$w_{ij} = \exp(-\lambda d_{ij})$$

Hvor vægtene w_{ij} er bestemt ved λ , som beskriver hvor hurtigt vægtene aftager ved øgede distancer.

Værdien af λ er fastsat til $1/\mu$ hvor μ angiver den gennemsnitlige afstand mellem den pågældende ejendom i og dets referenceejendomme j (StatExchange, 2017).

Lineær vægtning:

Denne vægtning følger en lineær fordeling, hvor vægtene er i intervallet 0 til 1. Vægtene reduceres lineær for hver referenceejendom efter den relative forskel mellem afstandene og den maksimale afstand. Den lineær vægtning minder derfor om den anvendte vægtning i Skatteministeriet (2016).

Beregningen af denne er angivet ved:

$$w_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{\theta} \text{ hvor } \theta = \max(d_{ij})$$

Her er vægtene w_{ij} beregnet efter den maksimale værdi mellem 0 og 1 fratrukket den relative forskel mellem den enkelte distance d_{ij} og den maksimale distance blandt j referenceejendomme. Vægtene bestemmes derfor lineær på baggrund af den maksimale afstand.

Invers-distance vægte:

Denne vægtning baseres udelukkende på distancen mellem den pågældende ejendom og referenceejendommene. Større vægt er givet til de nærmest ejendomme, mens vægtene er aftagende når distancen øges. Vægtningen vil derfor sikre at de nærmeste referenceejendomme får tillagt stor vægtning. Vægtene er beregnet efter formlen:

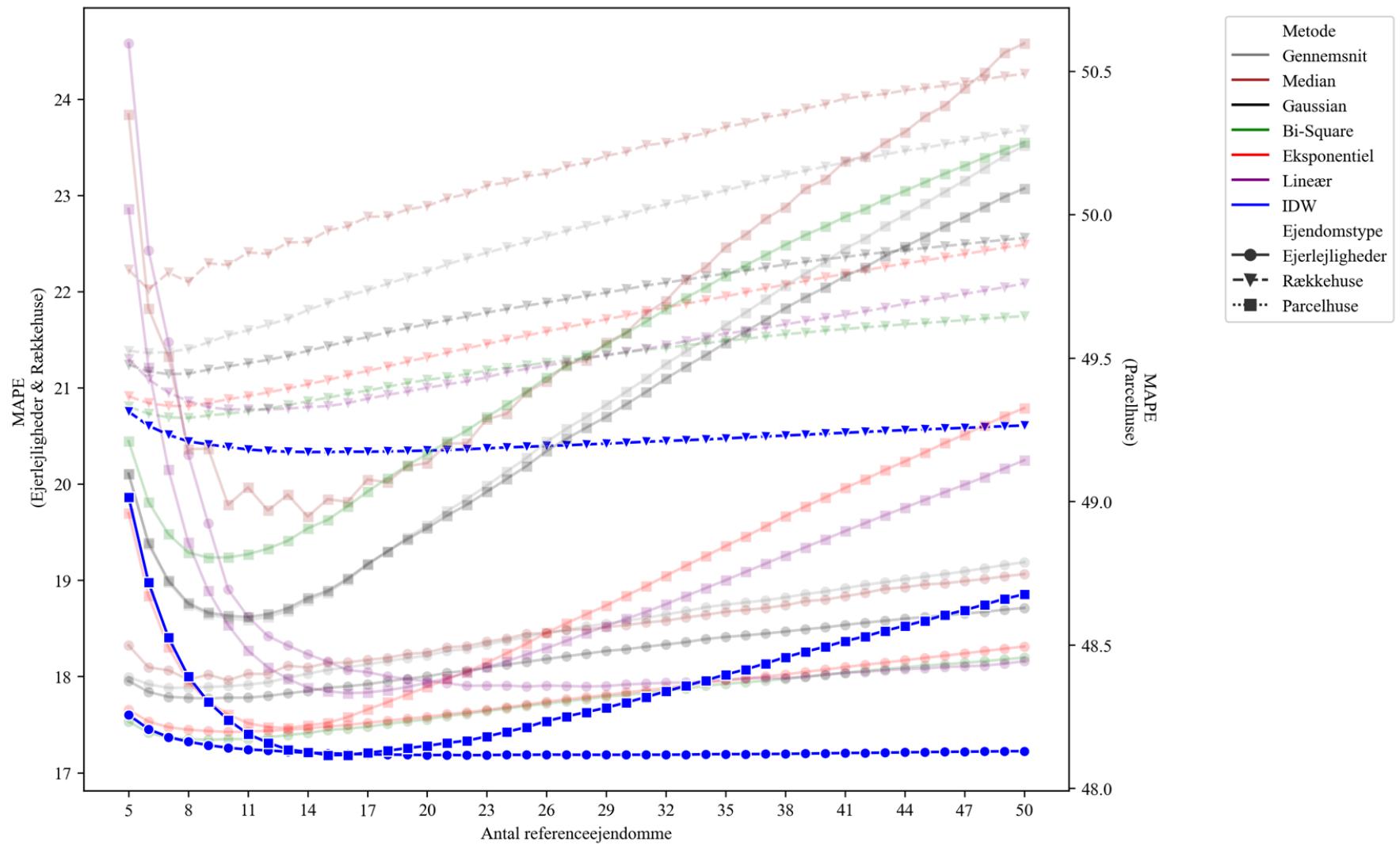
$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

Vægtene prioriterer derfor afstanden til referenceejendomme i større omfang, hvor større vægt vil

være givet til de nærmeste ejendomme og vil herefter være aftagende når distancen øges (Handayani et al., 2019).

For de ovenstående forskelligartede metoder, fremgår der i nedenstående figur hvordan vægtene fordeler sig over distancer til den pågældende ejendom. Resultatet af afprøvningen på tværs af de ovenstående metoder og skiftende antal referenceejendomme, fremgår af appendiks 9.4.

9.4 Afprøvning af forskellige vægte til nærområdepris



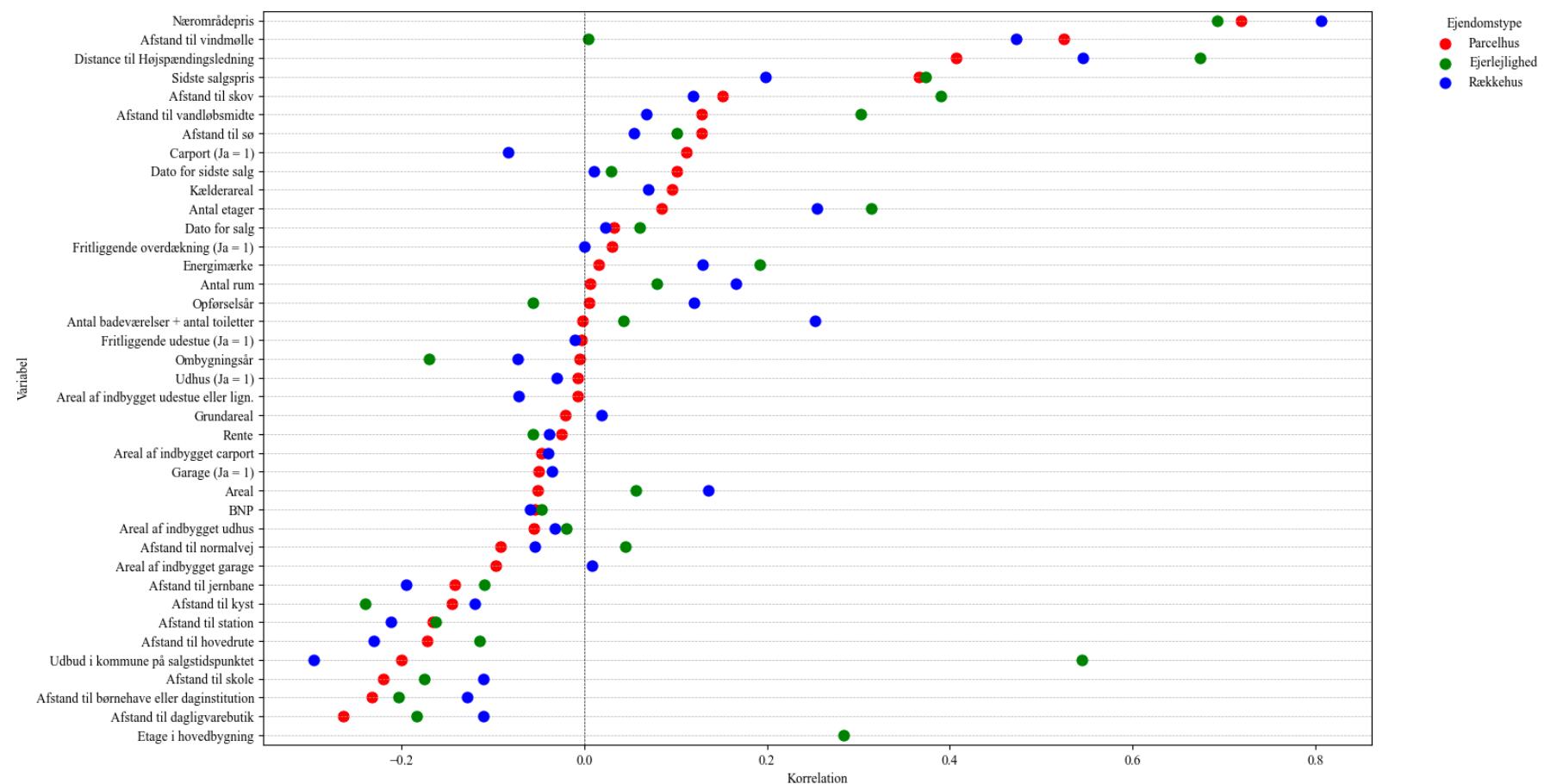
9.5 Fordeling af dyreste og billigste ejendomme efter ejendomstype



Annotering: Figuren viser at de 5.000 ejendomme med højest (rød) kvadratmeterpris i stort omfang er placeret i eller omkring storbyerne og at de 5.000 ejendomme med lavest (grøn) kvadratmeterpris er mere spredt indenfor de tre ejendomstyper.

Kilde: Egen tilskrivning på baggrund af datagrundlag

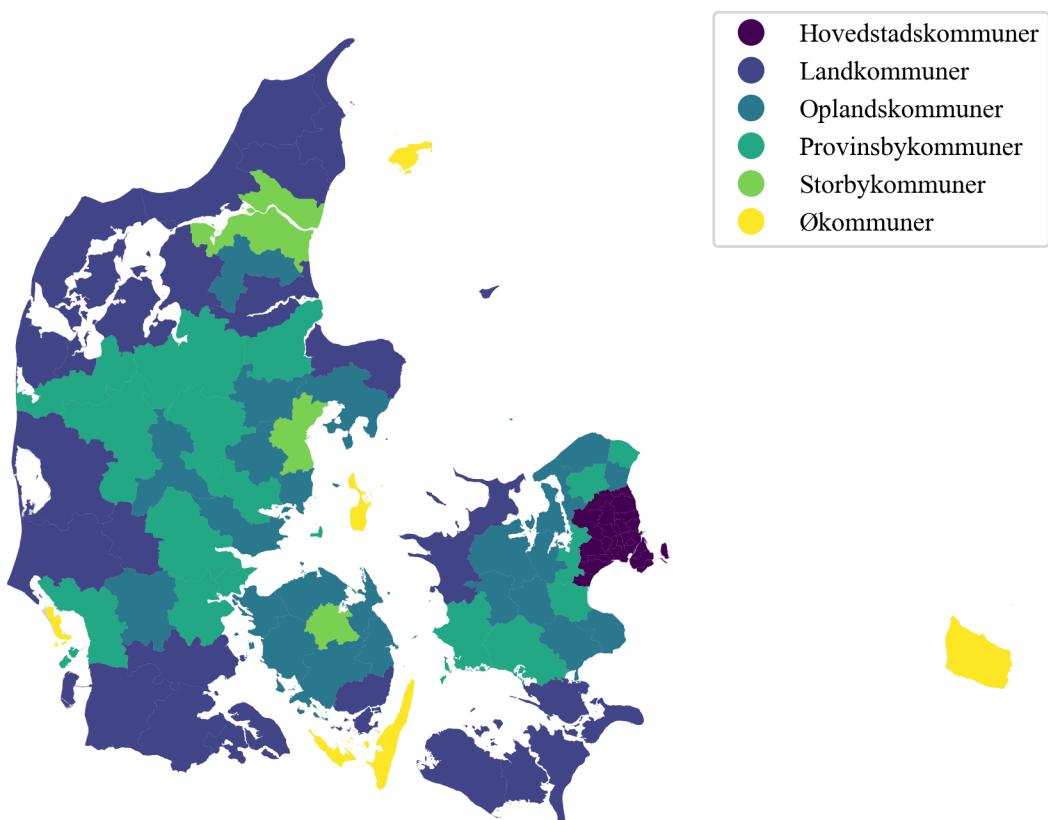
9.6 Korrelationsanalyse mellem kvadratmeterpris og numeriske variable



Annotering: Figuren viser den simple korrelation mellem kvadratmeterprisen og de forskellige variable for hver ejendomstype. Figuren er brugt til en eliminering af lavt korrelerede variable, i undersøgelsen af, om det bevirket til en højere træfsikkerhed i projektets modeller.

Kilde: Egne beregninger

9.7 Kommunegrupper

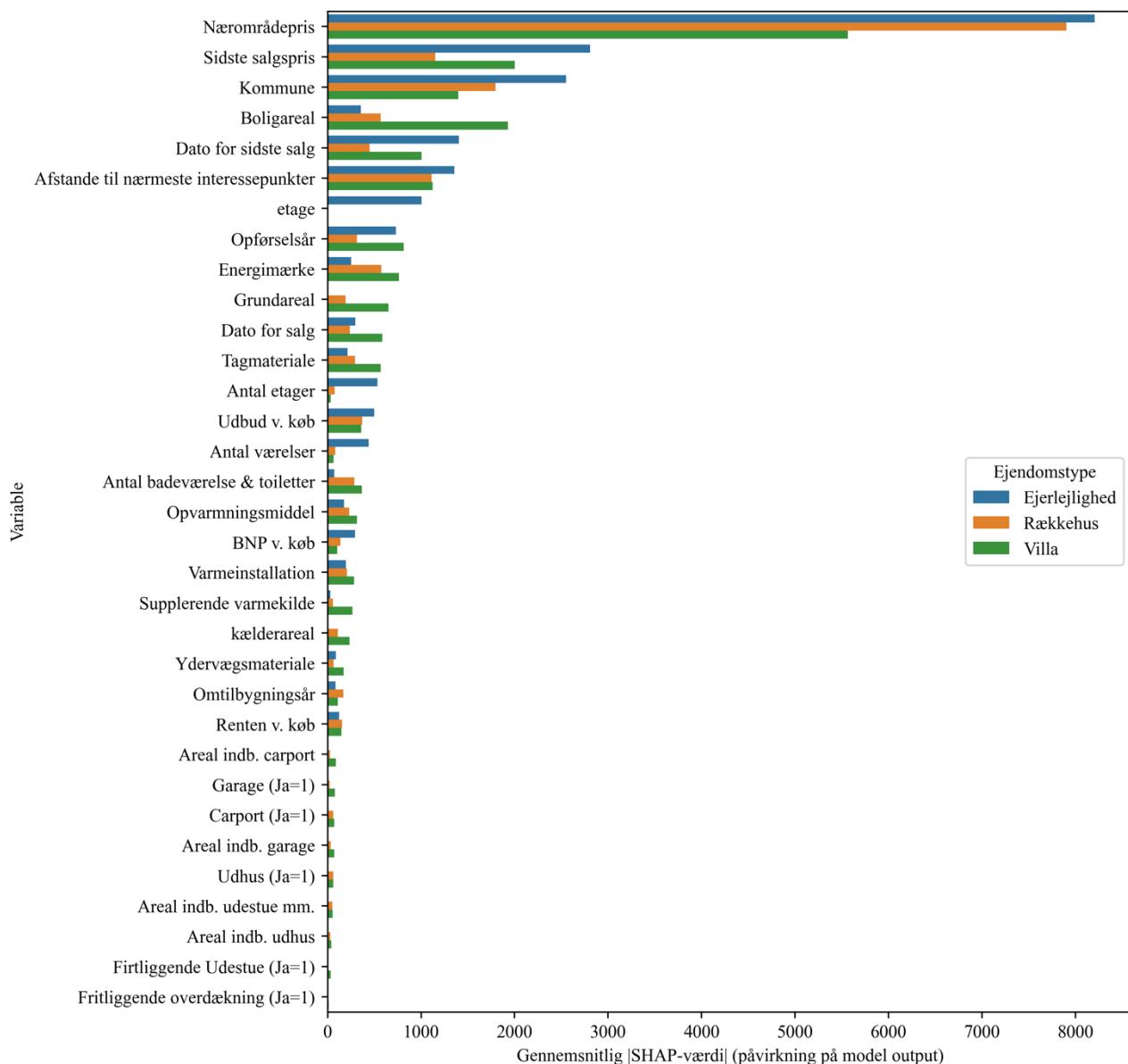


Annotering: Hovedstadsområdet indeholder i alt 24 kommuner, Landkommuner indeholder 25 kommuner, Oplandskommuner indeholder 24 kommuner, Provinskommuner indeholder 16 kommuner, Storkommuner indeholder 3 kommuner og Økommuner indeholder 6 kommuner.

Kilde: Egen tilskrivning på baggrund af opdeling anvendt i Hansen og Iversen (2023)

9.8 Supplerende SHAP-værdier

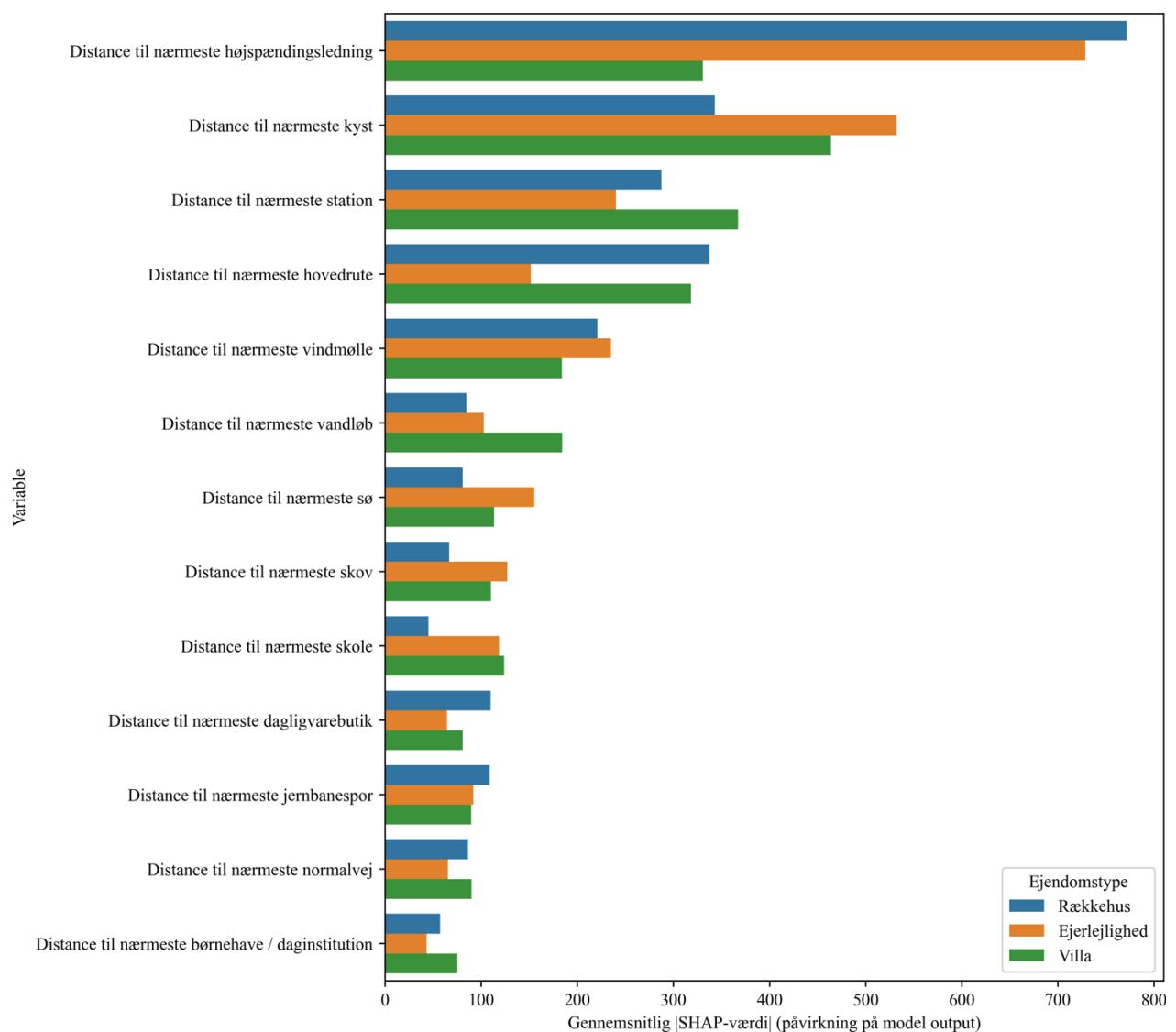
Gennemsnitlige SHAP-værdier opdelt efter ejendomstype



Annotering: Figuren viser SHAP-værdierne opdelt efter ejendomstype.

Kilde: Egne beregninger.

Gennemsnitlige SHAP-værdier for distancemål opdelt efter ejendomstype

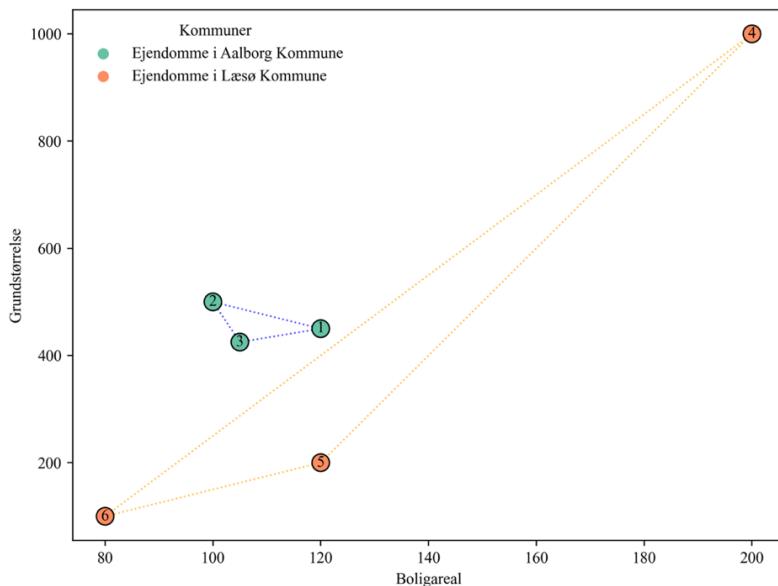


Annotering: Figuren viser SHAP-værdierne for projektet anvendte interesseområder. Disse er lagt sammen for hver ejendomstype i figur 19 og tillige lagt sammen for de enkelte rækkehuse i afsnit 5.3

Kilde: Egne beregninger.

9.9 Illustrativt eksempel på beregning af graden af heterogenitet

Kommende eksempel illustrerer hvordan projektet angiver hver kommunes niveau af heterogenitet blandt ejendomme i afsnit 5.2.2, baseret på den euklidiske distance mellem vektorerne af. Eksemplet givet i følgende er illustreret ved 2 karakteristika, herunder boligareal og grundstørrelse, for at illustrerer beregningen grafisk. Eksemplet kan også være anvendt i afsnit 5.2.2 i n -dimensioner, hvor der anvendes alle ejendommens fysiske og geografiske karakteristika. Eksemplet vises for 6 ejendomme, hvoraf 3 er placeret i Aalborg kommune og 3 er placeret i Læsø kommune. De stiplet linjer mellem hver ejendom angiver den euklidiske distance.



Annotering: Figuren illustrerer et todimensionelt eksempel på beregningen af niveauet af homogenitet blandt ejendomme i en kommune, ved brug af boligareal og grundstørrelse. Af figuren fremgår 6 ejendomme, hvoraf 3 er placeret i Aalborg kommune, mens de øvrige 3 er placeret i Læsø kommune. Figuren viser at distancen mellem ejendomme placeret i Aalborg er lavere sammenlignet med Læsø kommune, hvorfors ejendomme i Aalborg derfor er mere homogene sammenlignet med Læsø kommune.

Bemærkninger: Alle værdier anvendt i eksemplet er hypotetiske.

Kilde: Egen tilskrivning.

Den euklidiske distance kan beregnes ved formlen

$$d_{v_1v_2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{1i} - v_{2i})^2}$$

Hvor v_j er en vektor af værdier. Værdien af denne distance betegner hvor sammenlignelig en ejendom er, relativt til andre ejendomme, men har ingen absolut betydning (Aibin, 2023; Shekhawat, 2023).

Eksempelvis for Læsø kommune kan det bemærkes, at afstanden fra ejendom 6 til ejendom 5 er betydelig mindre sammenlignet med distancen fra ejendom 6 til ejendom 4.

Distancen mellem ejendom 6 og 5 er beregnet ved:

$$d_{v_6v_5} = \sqrt{(80 - 120)^2 + (100 - 200)^2} = 107,7$$

Mens distancen mellem ejendom 6 og 4 er beregnet ved:

$$d_{v_6v_4} = \sqrt{(80 - 200)^2 + (100 - 1000)^2} = 908,0$$

Som nævnt før bærer værdierne 107,7 og 908,0 ingen absolut betydning, men beskriver blot afstanden mellem ejendommenes vektorer i et todimensionelt vektorrum. Relativt er afstanden mellem ejendom 6 og ejendom 5 lavest, hvorfor ejendom 6 i højere grad ligner ejendom 5 sammenlignet med ejendom 4. Det vil sige, at ejendom 6 er mere sammenlignelig eller ens med ejendom 5, relativt til sammenligneligheden eller ensartetheden mellem ejendom 6 og 4.

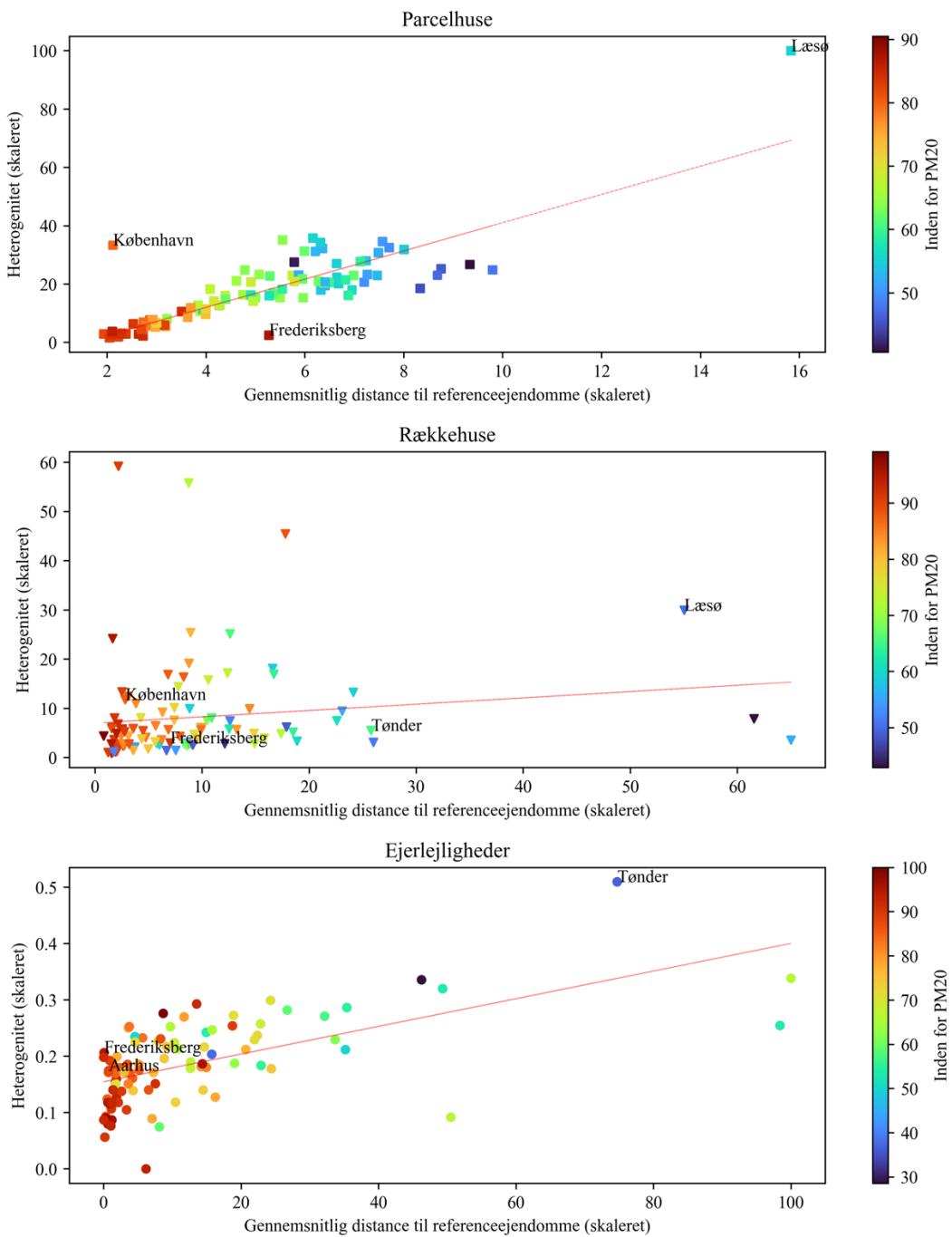
Beregnes distancen mellem alle ejendomme i kommunen opnås en distance-matrice, der angiver distancen fra hver ejendom til alle andre ejendomme i kommunen. Distancematricen for Læsø kommune angivet i nedenstående tabel:

Ejendom	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6
Nr. 4	0	804,0	908
Nr. 5	804,0	0	107,7
Nr. 6	908	107,7	0

For at angive kommunens samlede homogenitet beregnes den gennemsnitlige distance fra hver ejendom til de øvrige, hvorfor middelværdien af disse angiver kommunens homogenitet. Det vil sige, at værdien angiver hvor meget ejendommene i kommunen i gennemsnit ligner de øvrige. En høj relativ værdi vil fortolkes som at ejendommene i kommunen i gennemsnit er mindre homogene, mens en lav relativ værdi fortolkes ved at ejendommene i kommunen i gennemsnit er mere homogene.

Værdien af Aalborg kommune i ovenstående er eksempelvis 35,2 mens Læsø kommune har en værdi på 404,4. Det vil sige, at i gennemsnit er ejendommene placeret i Aalborg kommune mere ensartede og homogene sammenlignet med Læsø kommune, hvor ejendommene i højere grad er forskellige.

9.9.1 Heterogenitet og distance til referenceejendomme for de tre ejendomstyper



Annotering: Tabellen viser sammenhængen mellem den gennemsnitlige distance til referenceejendomme og graden af heterogenitet.

Kilde: Egne beregninger

9.10 Engbergudvalget gengivet beregningseksempel

Boks 8.3.3. Regneeksempler

Eksempel 1: Parcelhus i Brande/Ikast på 130 kvm. Huset er fiktivt, men med tilstræbte realistiske værdier, dog (for overskuelighedens skyld) med færre viste inputvariable, end den egentlige model har (de ikke-viste variable er summeret under 'bidrag fra øvrige variable').

Indhold	Værdi	Parameterværdi	Bidrag til beskatningsværdi (kr.)
Konstant (samme værdi for samtlige ejendomme)			902.184
Overordnet estimat af ejendommen ud fra nærområdeprisen	1.324.440 (130 * områdeprisen)	0,65	860.886
Nærområdeprisen	10.188	-8	-81.504
Kommune	Ikast-Brande	-103.243	-103.243
Grundstørrelse	1.057	74	78.218
Bebygget areal	130	-1.435	-186.550
Afstand til jernbane	1.281m	34.329	34.329
Afstand til kyst	44.187m	-53.517	-53.517
Afstand til højspændingsledninger	1.564m	-5.246	-5.246
Bidrag fra øvrige variable			13.926
Total			1.459.483

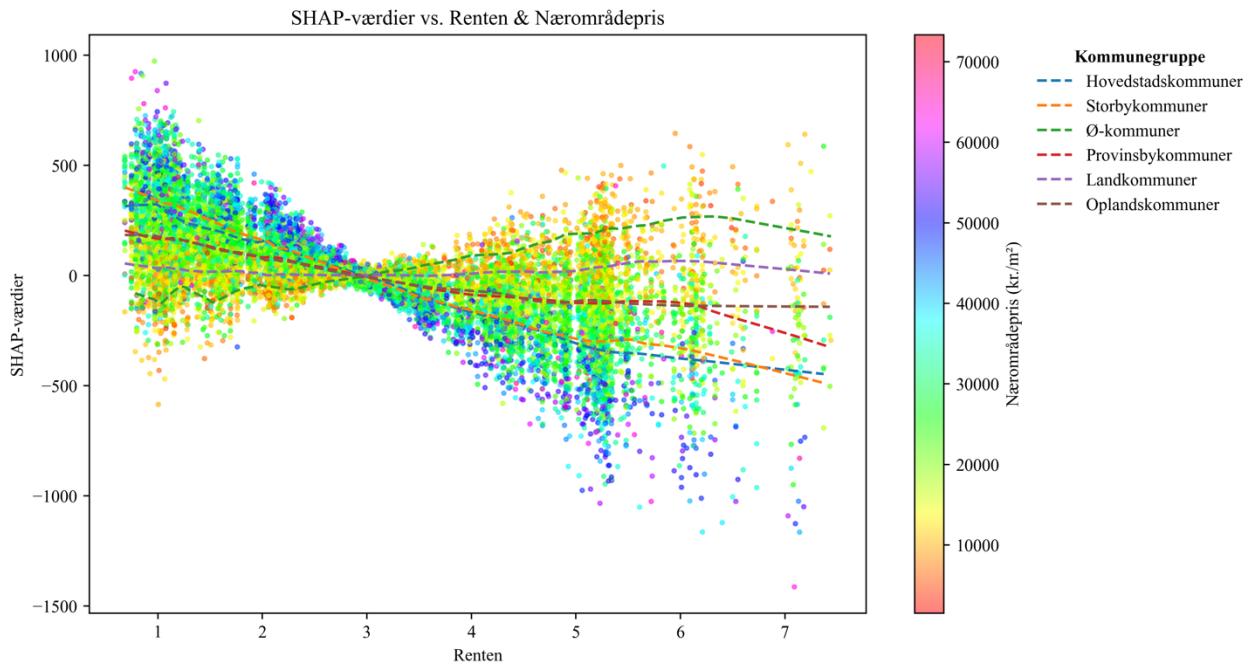
Eksempel 2: Parcelhus i Hillerød på 130 kvm. Huset er fiktivt, men med tilstræbte realistiske værdier, dog (for overskuelighedens skyld) med færre viste inputvariable, end den egentlige model har (de ikke-viste variable er summeret under 'bidrag fra øvrige variable').

Indhold	Værdi	Parameterværdi	Bidrag til beskatningsværdi (kr.)
Konstant (samme værdi for samtlige ejendomme)			902.184
Overordnet estimat af ejendommen ud fra nærområdeprisen	2.690.610	0,65	1.748.897
Nærområdeprisen	20.697	-8	-165.576
Kommune	Hillerød	95.134	95.134
Grundstørrelse	1041	74	77.034
Bebygget areal	130	-1.435	-186.550
Afstand til jernbane	3.200m	23.985	23.985
Afstand til kyst	1.711m	-54.721	-54.721
Afstand til højspændingsledninger	325m	-27.911	-27.911
Bidrag fra øvrige variable			971.335
Total			3.383.811

Annotering: Billedet viser beregningseksempler på to vurderinger af parcelhuse i Engbergudvalgets rapport. Af eksemplet fremgår det at de endelige vurderinger er summen af en række bidrag og fratræk fra ejendommenes karakteristika, der slutteligt udgør den endelige vurdering.

Kilde: Skatteministeriet (2014, s.113) Boks 8.3.3.

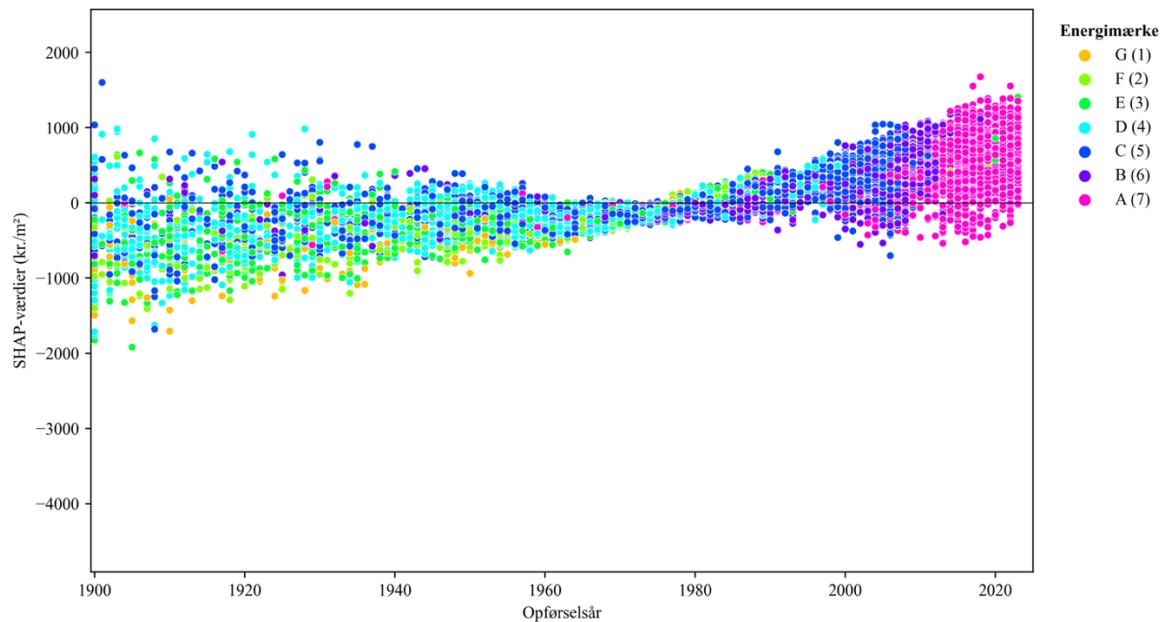
9.11 Supplerende SHAP



Annotering: Billedet viser sammenhængen mellem rentens indflydelse på vurderingerne for projektets model for rækkehuse. Hver markering angiver et rækkehus i projektets testdata. Rentens indflydelse på vurderingerne afhænger i høj grad af områdets pris og ligeledes også hvilken kommune ejendommen er placeret i. Pointerne skal ikke fortolkes som en kausal sammenhæng mellem en ejendoms pris, men illustrerer udelukkende rentens bidrag til modellens vurderinger ved forskellige scenarier.

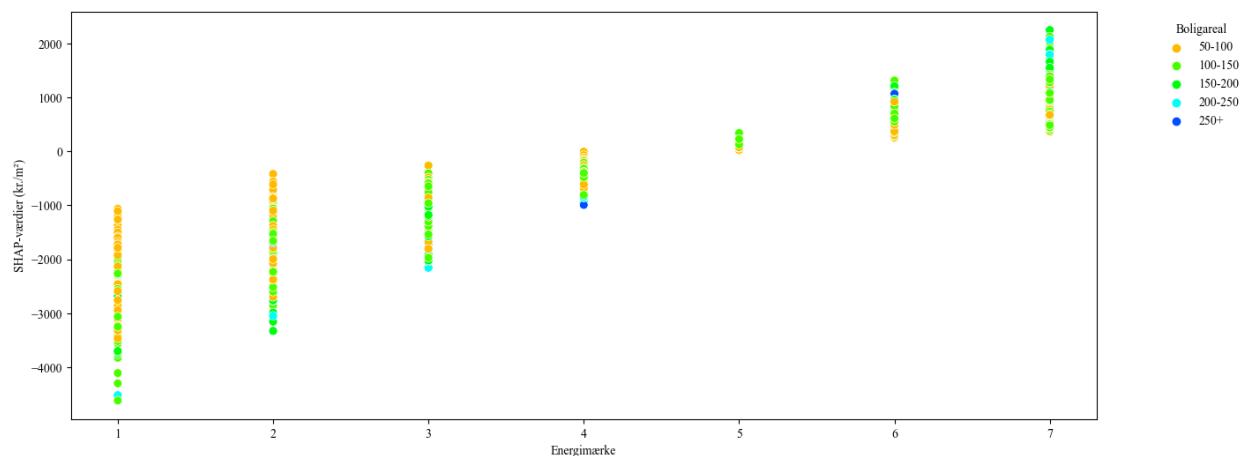
Bemærkninger: De stiplede linjer viser LOESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing), der er en ikke-parametrisk funktion, som viser udjævnede underliggende trends i markeringerne (Langen, 2019). Funktionerne er opdelt efter kommunegrupperne og viser derfor rentens indflydelse på vurderingerne, for de enkelte kommunegrupper.

Kilde: Egne beregninger



Annotering: Billedet viser sammenhængen mellem opførselsårets indflydelse på vurderingerne ved interaktionen med energimærket. Hertil ses at der i flere tilfælde vil være en lavere negativ indvirkning fra opførselsåret, når ejendommen ligeledes har et højere energimærke.

Kilde: Egne beregninger



Annotering: Billedet viser sammenhængen mellem energimærkets indflydelse på vurderingerne ved interaktionen med boligarealet. Hertil ses at lav energimærke vil trække vurderingen ned og at højere energimærke vil trække vurderingen op. Hertil ses, at et lavt energimærke i kombination med stort boligareal vil øge energimærkets negative indvirkning, mens et højt energimærke i kombination med stort boligareal trækker vurderingen mere op. Omvendt tilfælde illustreres ligeledes, hvor lav energimærke og lav boligareal ikke påvirker vurderingen negativt i lige så stort omfang.

Bemærkning: Energimærket bevæger sig fra A (7) til G(1)

Kilde: Egne beregninger