
Spálíkan fyrir komur á Bráðamóttökuna

ÓLAFUR HEIÐAR JÓNSSON
S. MAGGI SNORRASON

HÁSKÓLI ÍSLANDS

REYKJAVÍK

RAFMAGNS- OG TÖLVUVERKFRÆÐIDEILD



14. apríl, 2024

RAF620M Inngangur að vélrænu námi og gervigreind

1 Útdráttur

Í þessu verkefni var reynt að spá fyrir um fjölda koma á Bráðamóttökuna í Fossvogi út frá veði, degi árs og hvort það var helgi, frídagur eða stór hátíð. Sett voru upp tvö líkön, eitt línulegt aðhvarfsgreiningarlíkan (e. *linear regression*) og eitt flóknara, LSTM-líkan, (e. *long short-term memory*). Niðurstöður líkananna voru síðan bornar saman við hvor aðra og einfaldar ágiskanir út frá meðaltali koma og hlaupandi meðaltali. Kom í ljós að hægt var að spá fyrir um fjölda koma með meðaltalsnákvæmni, (MAE), upp á 12,9 manns á dag ef stuðst var við flóknara endurtæka (e. *recurrent*) LSTM-líkanið. Aðeins lakari niðurstöður fengust með aðhvarfsgreiningarlíkaninu þó svo að meðaltalsnákvæmnin (MAE) væri aðeins lægri þar sem MSE-gildið hjá LSTM var betra. Bæði líkönin skiluðu betri niðurstöðu en einföldu ágiskanirnar og gáfu niðurstöður verkefnisins vísbendingar um að gera megir enn þá betra líkan til þess að spá fyrir um komur á Bráðamóttökuna.

2 Inngangur

Síðustu ár hafa komið fréttir um hvernig bráðamóttaka Landspítalans nær ekki að standa strauminn af fólki sem leitar til hennar [2][3]. Það er alls ekki gott enda treystir fólk á að geta leitað þangað þegar eitthvað kemur upp á. Þessar fréttir voru kveikjan að þessu verkefni en höfundar veltu fyrir sér hvort hægt sé að spá fram í tímann hvernig álagið á bráðamóttökuna verður út frá öðrum breytum sem vitaðar eru fyrir fram.

Verkefnið snérist um að spá um fjölda koma á bráðamóttökuna út frá veðri. Spáð var um fjölda á dag en ekki skoðað dreifingu komanna yfir hvern dag. Markmið verkefnisins var að spá með nægilegri nákvæmni að hún gæti gagnast skipuleggjendum bráðamóttökunnar að gera ráðstafanir til þess að nýta gæði og mannauð betur. Ekki var hægt að prófa notagildið en hægt er að koma með huglægt mat á hvort nákvæmnin sé ásættanleg.

Unnið var með gögn um komur á Bráðamóttökuna í Fossvoginum frá Landspítalanum og veðurgögn um höfuðborgarsvæðið frá Veðurstofu Íslands yfir árin 2020 til og með 2023. Á því tímabili voru tæplega 245.918 komur skráðar. Einnig hófst heimsfaraldur snemma árs 2020 sem hafði mikil áhrif á ferðamannafjölda og hegðun fólks vegna samkomutakmarkana. Höfundum tókst ekki að athuga nógu vel hvernig það hafði áhrif á komur.

Report 1

2	
3	
4	Dagsetning innskriftar komu
5	29.12.2019 12:32:44
6	29.12.2019 15:44:27
7	29.12.2019 18:41:52
8	30.12.2019 12:20:49
9	30.12.2019 19:15:32
10	30.12.2019 19:20:36
11	30.12.2019 21:49:58
12	31.12.2019 01:05:27
13	31.12.2019 09:44:04

Mynd 1: Útlit gagna frá Landspítalanum.

Veðurstofan afhendi okkur gögn frá 17 sjálfvirkum stöðvum á klst. fresti og síðan gögn frá mönnuðu veðurstofunni við Bústaðarveg, en þar voru sumar mannaðar mælingar einungis teknar á 3 klst. fresti.

Síðan voru gögn yfir lögbundna frídaga og viðburði fundin á netinu.

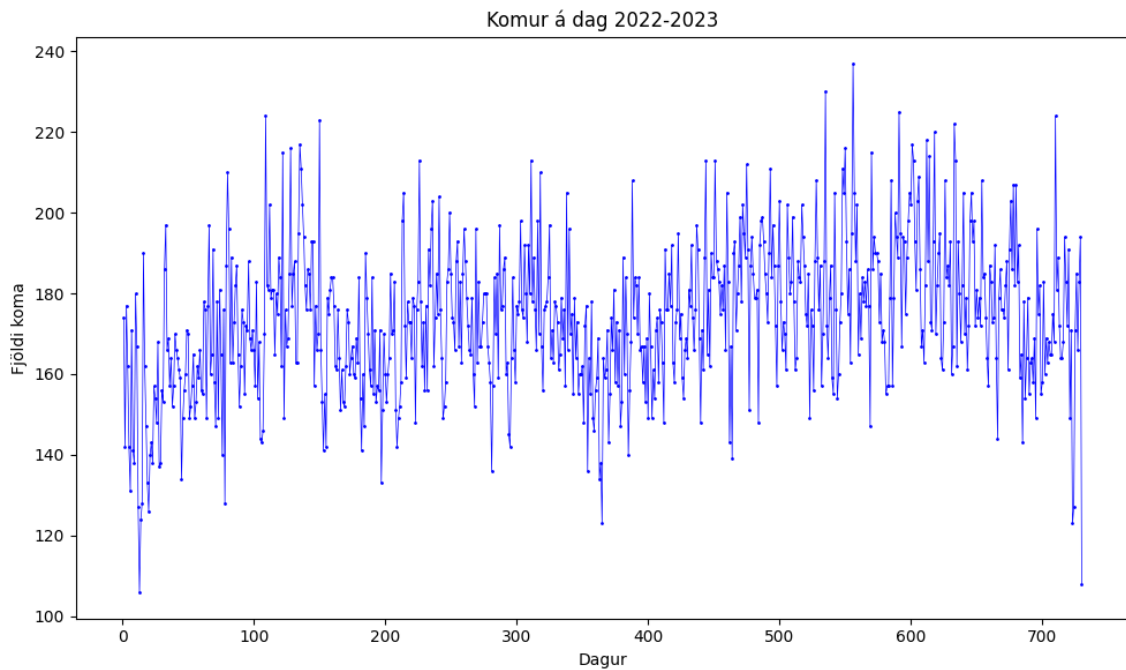
Vinna þurfti talsvert með gögnin áður en hægt var að nota þau í þjálfun líkananna en sú vinna fólst að mestu í því að fylla inn í eyður og sameina gildi sem voru tekin á mismunandi tímum yfir daginn í eitt gildi. Sett voru síðan upp tvö módel, eitt línulegt aðhvarfsgreiningarlíkan (e. *linear regression*) og eitt flóknara, LSTM-líkan (e. *long short-term memory*). Einnig voru gerð tvö einföld spálíkön. Annað sem giskaði alltaf á meðaltal þjálfunargagnanna og annað sem tók hlaupandi meðaltal seinustu 12 daga og voru þau notuð sem samanburðarlíkan fyrir hin tvö líkönin.

Niðurstöður þessara líkana voru allar bornar saman en stuðst var við MSE-gildi þeirra til þess að meta hversu vel þau stóðu sig. Ágiskanir líkananna voru líka teiknaðar upp með raunverulegum fjölda koma þann daginn til þess að hægt væri að fá betri yfirsýn yfir það hvernig líkönin standa sig.

3 Aðferðir

3.1 Gögn

Komurnar á Bráðamóttökuna í Fossvoginum komu frá Landsspítalanum sem raðir þar sem hver röð var dagsetning og tími dags sem hver koma var skráð í kerfið. Útlit þeirra má sjá á mynd 1. Komur á dag eru 170 að meðaltali yfir þessi fjögur ár frá og með 1. janúar 2020 til og með 31. desember 2023. Hluta af dögnum má sjá á mynd 2. Gögnin voru dregin saman eftir dögum.



Mynd 2: Komur á Bráðamóttökuna á dag árin 2022 og 2023.

Veðurgögnin af höfuðborgarsvæðinu komu með eftirfarandi einkennum:

- Númer stöðvar (Það eru 18 mismunandi veðurstöðvar á höfuðborgarsvæðinu.)
- Tími athugunar (Athugað á klukkustunda fresti sjálfkrafa og mönnuð athugun á þriggja klukkustunda fresti.)
- Ár, mánuður, dagur og klukkustund athugunar.
- Loftþiti [°C]
- Hámarkshiti milli kl 9:00-18:00 eða milli kl 18:00-9:00 [°C]
- Lágmarkshiti milli kl 9:00-18:00 eða milli kl 18:00-9:00 [°C]
- Lágmarkshiti við jörð [°C]
- Daggarmark [°C]
- Votur hiti [°C]
- Vindhraði (10 mín. meðalgildi) [m/s]
- Mesti 10. mín meðalvindhraði frá síðustu mælingu [m/s]
- Vindhviða (hæsta 3 sek. gildi frá síðustu mælingu) [m/s]
- Vindátt (10 mín. meðalgildi) [°] A: 90°, S: 180°, V: 270°, N: 360°
- Loftþrýstingur reiknaður niður að sjávarmáli [hPa]
- Rakastig [%]
- Uppsöfnuð úrkoma frá síðustu mælingu, mæld kl 9 og 18 [mm]. Eingöngu mælt kl 9 á úrkomustöðvum. Auður reitur: þurrt, 0.0: úrkomu varð vart en hún mældist ekki.
- Úrkomutegund. 6: Regn, 7: Snjór, 0: Slydda
- Skyggni [km]
- Skýjahula í áttunduhlutum. 9: sést ekki til skýja
- Sólskinsstundir [klst.]
- Snjólag, athugað kl 9 (Textalýsing.)
- Snjóhula í fjöllum. 0: Autt, 2: Flekkótt, 4: Alhvítt
- Snjódýpt [cm], mæld kl 9
- Jarðlag, athugað kl 9 (Textalýsing.)

- Veður á athugunartíma (Textalýsing.)
- Hagl, þoka, þrumur (Textalýsing.)
- Veður milli athugana (Textalýsing.)

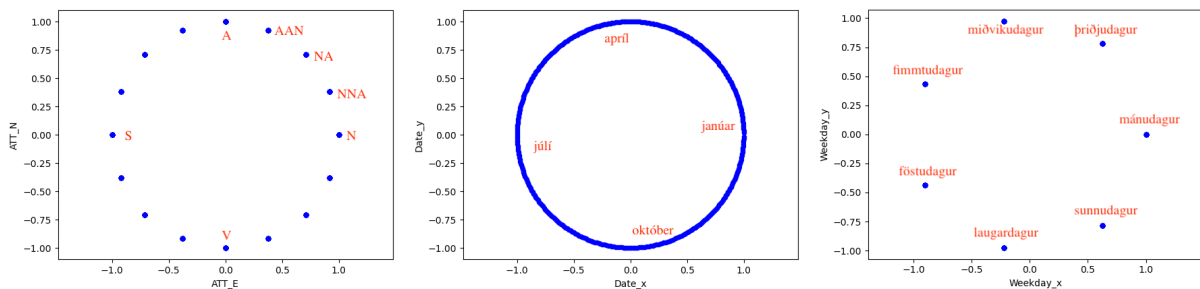
Þetta er gríðarlega mikið af einkennum sem hægt er að velja úr. Veðurathuganir eru annars vegar sjálfvirkar á klukkustundar fresti eða framkvæmdar af fólki á þriggja klukkustundafresti. Aðeins ein stöð er mönnuð og hún er við Bústaðarveg þar sem höfuðstöðvar Veðurstofu Íslands eru staðsettar.

Einkenni sem voru notuð af veðurgögnunum voru valin að miklu leyti eftir huglægu mati. Fylgnin milli lofthita og hámarks- og lágmarkshita var nánast algjör þannig að lofthitinn var látinn duga. Það sama á við um daggarmark sem var með mjög mikla fylgni við lofthita. Fylgnin milli vindhraða og mesta meðalvindhraða var algjör svo vindhraði var látinn duga.

Vindáttina var hægt að fá í gráðum. Líkanið þarf að átta sig á því að vindáttirnar 5° og 355° eru nánast sama vindátt í stað þess að halda að þær séu á sitt hvorum endanum á skalanum. Til þess að hafa fjarlægðina á milli vindáttanna raunverulegri þá er gráðunum θ varpað á vigurinn

$$[ATT_N, ATT_E] = [\cos(\theta), \sin(\theta)]$$

þar sem ATT_N er vindáttin í norðurátt og ATT_E í austurátt. Sjáum hér á mynd 3 hvernig vörpuðu gögnin líta út á tvívíðu plani þar sem svipaðar vindáttir eru nær hvor öðrum.



Mynd 3: Vörpun vindátta (vinstri), dag árs (miðja) og vikudags (hægri) á tvívítt plan.

Of lítið af gögnum var um votan hita til þess að vilja taka með. Sum einkennin voru textalýsingar eins og snjólag. Öðrum einkennum sem var sleppt voru ekki tekin með því höfundar töldu einkennin of mörg og mátu svo að önnur einkenni myndu segja meira til um komur.

Gögn yfir hvaða dagar eru lögbundnir frídagar voru sett saman af höfundum út frá vefsíðum Stjórnarráðsins. Um helmingur þeirra eru bundnir við ákveðna dagsetningu eins og verkalyðsdagurinn sem er 1. maí ár hvert og jóladagur sem er 25. desember. Hinir dagarnir eru flóknari eins og sumardagurinn fyrsti sem er fyrsti dagur fyrsta sumarmánaðar í gamla norræna tímatalinu og er breytilegur eftir árum Gregoríska tímatalesins sem notað er í dag.

Svipað og með vindáttina þá er dögum ársins varpað á á hring í tvívíðu plani auk daga vikunnar. Það er gert til þess að auðvelda einfalda líkaninu að átta sig á tíma ársins og vikunnar með því að hafa réttari fjarlægð milli sunnudaga og mánudaga annars vegar og desember og janúar hins vegar. Mynd 3 sýnir hvernig dagarnir varpast yfir á hringinn.

Unnin veðurgögn, komurnar og dagarnir voru sameinuð í eina töflu. Sú tafla var með 15 dálkum þar sem einn þeirra geymir komurnar en hinir eru einkennin sem notuð voru til þess að spá fyrir um komurnar. Hér í töflu 1 eru allir dálkarnir í gögnunum sem og lýsing á hverjum og einum þeirra. Hver röð í gögnunum er einn dagur.

Dálkur	Lýsing
Count	Fjöldi koma á bráðamóttökuna.
T	Lofthiti [°C].
TGN	Lágmarkshiti við jörð [°C].
F	Vindhraði (10 mín. meðalgildi) [m/s].
FG	Vindhviða (hæsta 3 sek. gildi frá síðustu mælingu) [m/s].
R	Uppsöfnuð úrkoma frá síðustu mælingu, mæld kl 9 og 18 [mm].
V	Skyggni [km].
SND	Snjódýpt [cm], mæld kl 9.
ATT_N	Vindátt til norðurs.
ATT_E	Vindátt til austurs.
Holiday	Hvort það sé lögbundinn frídagur.
Event	Hvort það sé Menningarnótt eða Þjóðhátíð.
Date_x	Dagur árs í x-stefnu.
Date_y	Dagur árs í y-stefnu.
Weekday_x	Vikudagur í x-stefnu.
Weekday_y	Vikudagur í y-stefnu.

Tafla 1: Dálkar í gögnunum.

3.2 Samanburðarlíkan

Samanburðarlíkanið er línuleg aðhvarfsgreining sem horfir á veðrið hvern dag og bæði veðrið og komur síðustu daga. Líkanið er þá

$$\begin{aligned}
\hat{y} = & \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_p x_p \\
& + \theta_{p+1} x_1^{(-1)} + \dots + \theta_{2p} x_p^{(-1)} \\
& + \quad \quad \quad \vdots \\
& + \theta_{dp} x_1^{(-d)} + \dots + \theta_{dp} x_p^{(-d)} \\
& + \theta_{dp+1} y^{(-1)} + \dots + \theta_{dp+d} y^{(-d)} + \epsilon
\end{aligned}$$

þar sem \hat{y} er spáður fjöldi koma, $\theta_0, \dots, \theta_{p+d}$ eru stikarnir, x_1, \dots, x_p eru inngildin eins og veðurgögnin þann dag, $x_1^{(-1)}, \dots, x_p^{(-1)}$ eru inngildin daginn fyrir, $y^{(-1)}, \dots, y^{(-d)}$ eru fjöldi koma síðustu d daga og ϵ er suðið.

Notað var `sklearn.linear_model.LinearRegression` til þess að keyra samanburðarlíkanið.

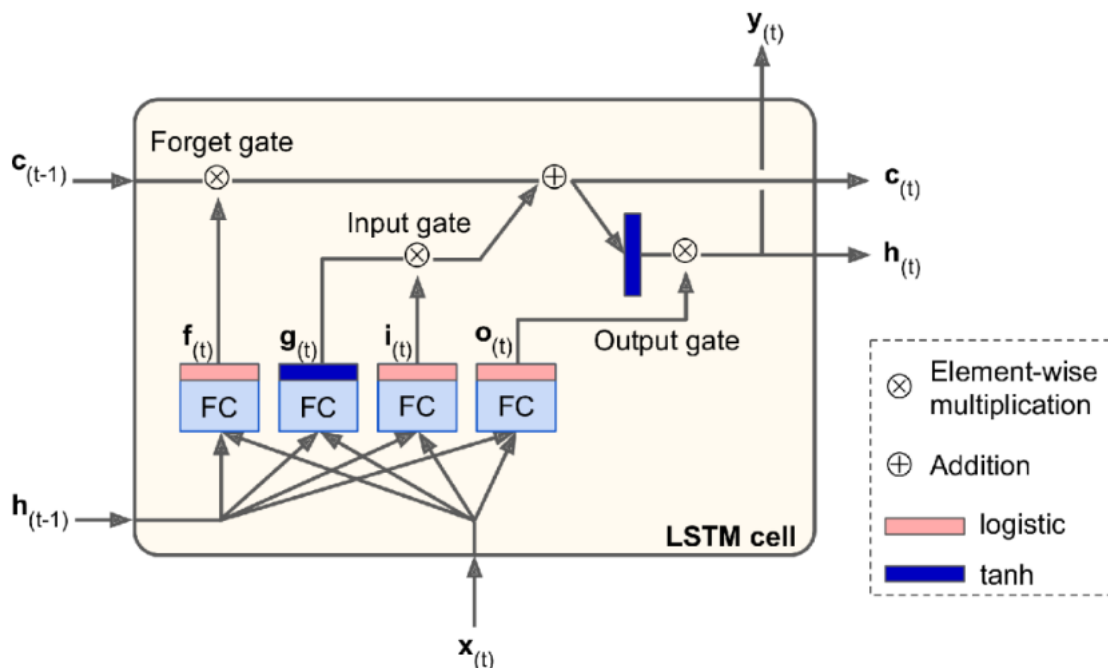
Gögnunum var skipt upp í 80% þjálfunargögn og 20% prófunargögn. Líkanið tók inn öll einkennin sem koma fram í töflu 1 þann dag og síðustu fjóra daga. Einkennin eru 15 þannig að inngildin eru

$$4 \times \text{komur} + 5 \times \text{einkenni} = 4 + 5 \times 15 = 79 \text{ talsins.}$$

3.3 LSTM-líkan

Ákveðið var að setja upp endurtækt tauganet (RNN) þar sem verkefnið er tímaráðarvandamál þar sem verið var að reyna að spá fyrir um næsta gildi í tímaröðinni. Endurtæk tauganet taka auk einkennanna inn gögn frá sjálfum sér úr fyrra skrefi en tekið er þannig tillit til fyrri atburða. Fyrir langar tímaraddir þarf líkanið að taka tillit til margra tímaskrefa þannig að afrúllaða (e. *unrolled*) tuganetið verður mjög djúpt. Þetta veldur því að það getur tekið langan tíma að þjálfa netið. Einnig gerist það þegar RNN vinna úr löngum tímaröðum að elstu tímaskerfin gleymast [1].

Þetta kemur sér illa í okkar tilfelli þar sem örlítill munur er á komum eftir árstíðum eins og sjá má á mynd 2. En venjulegt RNN getur ekki greint langtímamynstur í gögnunum. Því var ákveðið að nota LSTM-líkan sem leysir þetta vandamál. Á mynd 4 má sjá uppsetningu LSTM-taugungs LSTM cell. Hann skilar þrem gildum. y sem er útmerkið og c og h sem eru gögnin sem hann tekur aftur inn í næsta tímaskrefi. Það má hugsa um c sem eins konar langtímaminni og h sem skammtímaminni. Þetta gerir netinu kleift að greina langtímamynstur í gögnum. Einnig er kostur að unnið sé eins með LSTM-líkan og venjuleg tauganet þegar keras-hugbúnaðarsafnið er notað [1].



Mynd 4: Uppsetning LSTM-taugungs [1].

Tekin eru inn 14 inngildi sem má sjá í töflu 1 fyrir utan Count og Holiday sem var sleppt. Gögnin voru síðan öll sköluð á bilið $[0, 1]$. *Count* var ekki skalað þar sem spá átti fyrir um þau gildi. Gögnin voru síðan undirbúin fyrir líkanið með falli sem var útbúið og nefnt *create_sequences*. Það tekur inngildin innan valins glugga og hópar þau saman og vistar í X , í y var síðan gildið á *Count* sem kom næst vistað. Áður en hægt var að setja gögnin inn í líkanið var þeim skipt í þjálfunargögn, X_{train} og y_{train} , og prófunargögn, X_{test} og y_{test} . Skiptingin var 80% þjálfunargögn og 20% prófunargögn.

Loks var líkanið sett upp. Það samanstendur af 4 lögum, 3 LSTM-lögum og einu *Dense*-lagi sem hentar vel þegar verið er að spá til um eitt gildi. LSTM-lögin notuðu *Relu* virknifallið og lag tvö hafði *dropout=0.2* sem skilgreinir hlutfall þeirra taugunga í laginu sem er handahófskennt sleppt við þjálfun líkansins [4]. Fyrsta LSTM-lagið í netinu innihélt 50 taugunga, það næsta 40 og það þriðja 20.

Model: "sequential_24"

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_69 (LSTM)	(None, 20, 50)	13000
lstm_70 (LSTM)	(None, 20, 40)	14560

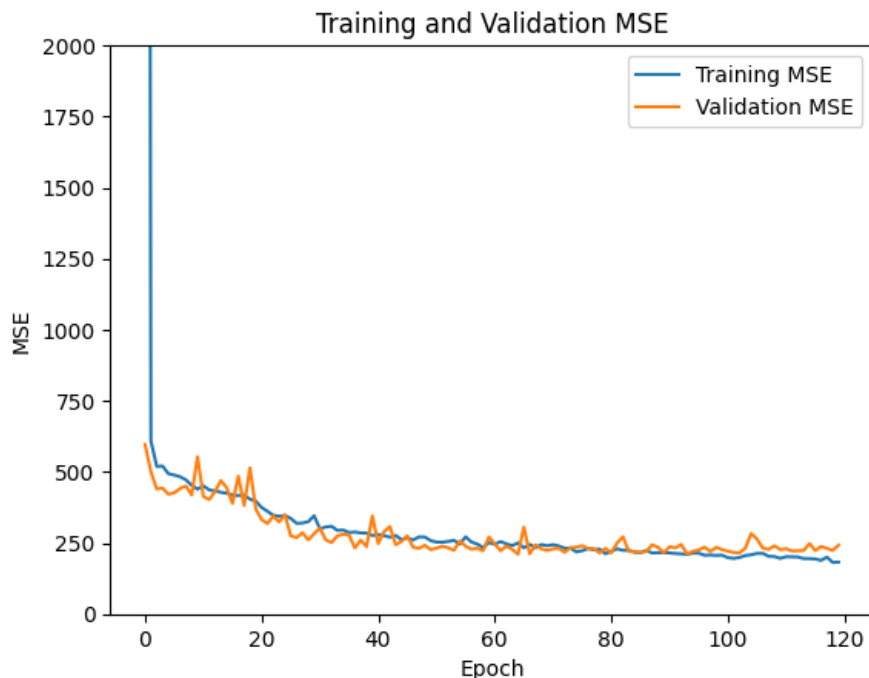
lstm_71 (LSTM)	(None, 20)	4880
dense_22 (Dense)	(None, 1)	21

```

=====
Total params: 32461 (126.80 KB)
Trainable params: 32461 (126.80 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)
-----

```

Líkanið var stillt af með prófunum og besta uppsetningin sem fékkst er sú sem sést hér að ofan, með gluggastærð 20. Til þess að meta líkanið þegar höfundar prófuðu sig áfram var horft á MSE-gildið (e. *mean squared error*) og skoðaðar myndir eins og sjá má hér að neðan á mynd 5. Á henni má sjá hvort verið sé að ofmáta (e. *overfitting*) gögnin og hvort MSE sé orðið stöðugt og fækka megi *epochs*. Það líkan sem gaf lægsta MSE-gildið var síðna vistað og er mynd 5 frá því.



Mynd 5: MSE þjálfunar- og *validation*-gagnanna sem fall af *epochs*.

3.4 Samanburður

Samanburðurinn á líkununum fór þannig fram að borið var saman MAE (þ.e. *Mean Absolute Error*) líkananna og einnig með því að skoða þéttni afganganna (þ.e. $\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y}$). Auk þess er LSTM-líkanið borið saman við tvö mjög einföld líkön. Annars vegar hlaupandi meðaltal (e. *running average*) síðustu 12 daga á prófunargögnunum og hins vegar líkan sem giskar alltaf á meðaltalið af þjálfunargögnunum (≈ 169 komur á dag).

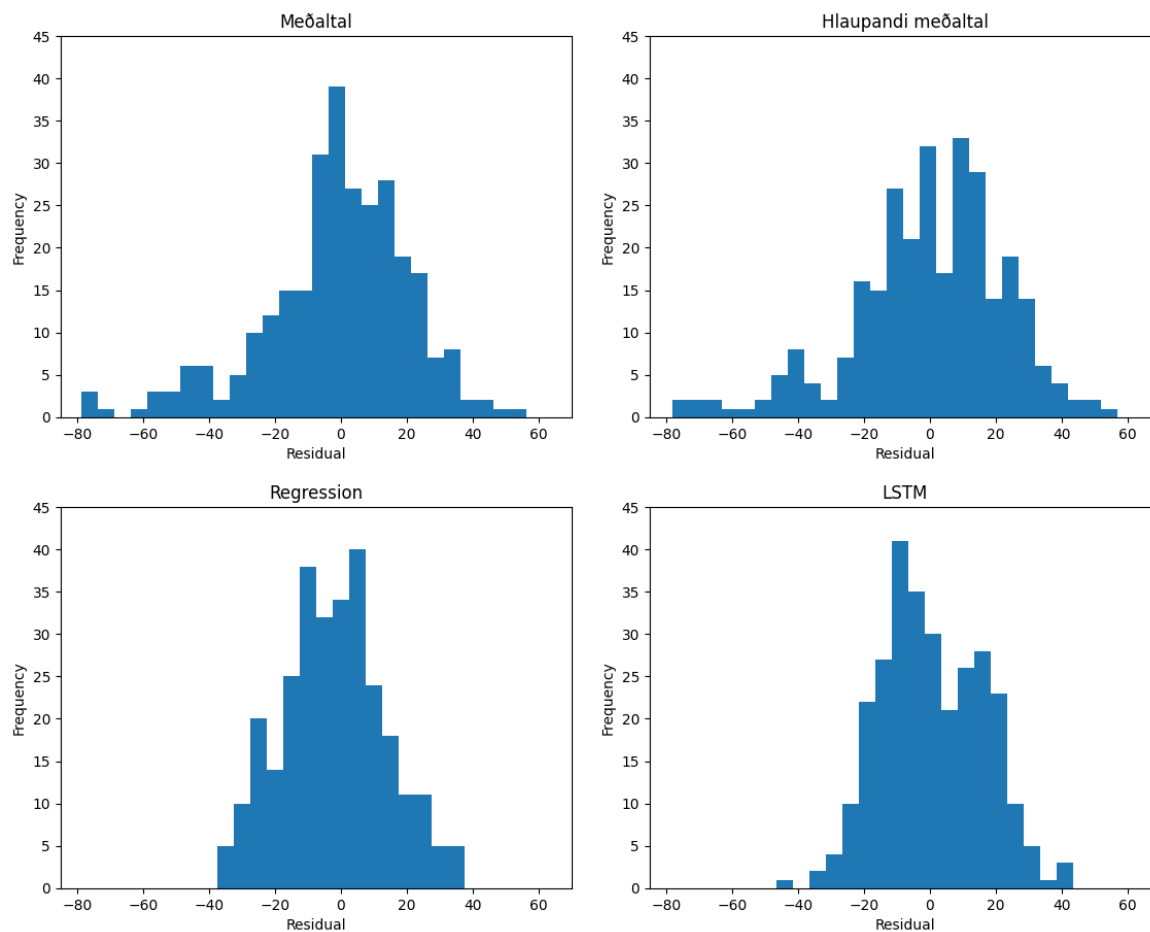
4 Niðurstöður

Samanburðinn á MAE og MSE gildum líkananna má sjá í töflu 2. Hún sýnir að LSTM-líkanið er að standa sig betur en allra einföldustu líkönin. Aðhvarfsgreiningin er hins vegar að standa sig svipað vel.

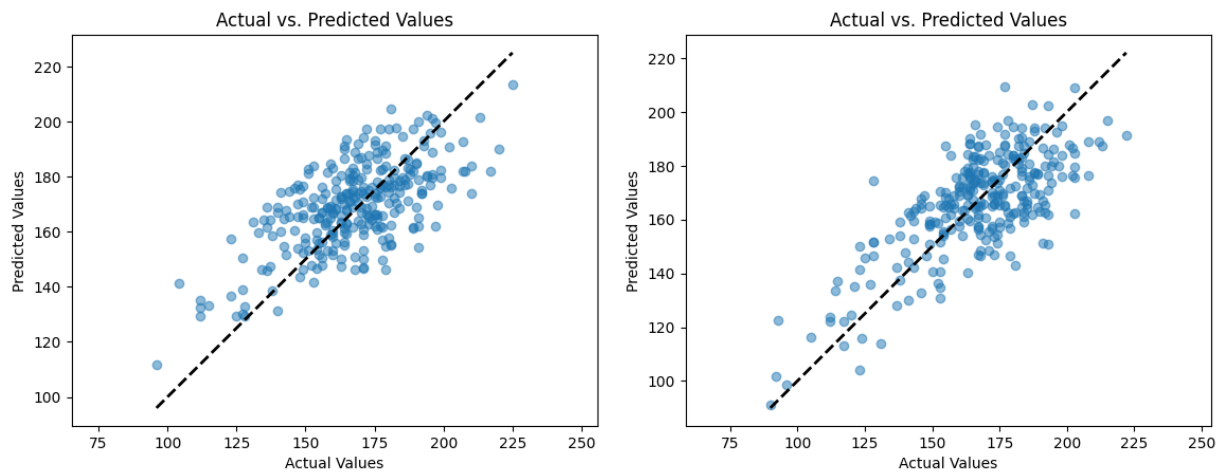
Líkan	MAE	MSE
Meðaltal	16.64	501.44
Hlaupandi meðaltal	17.95	543.12
Línuleg aðhvarfsgreining	12.76	248.24
LSTM	12.91	242.38

Tafla 2: MAE- og MSE-gildi líkananna.

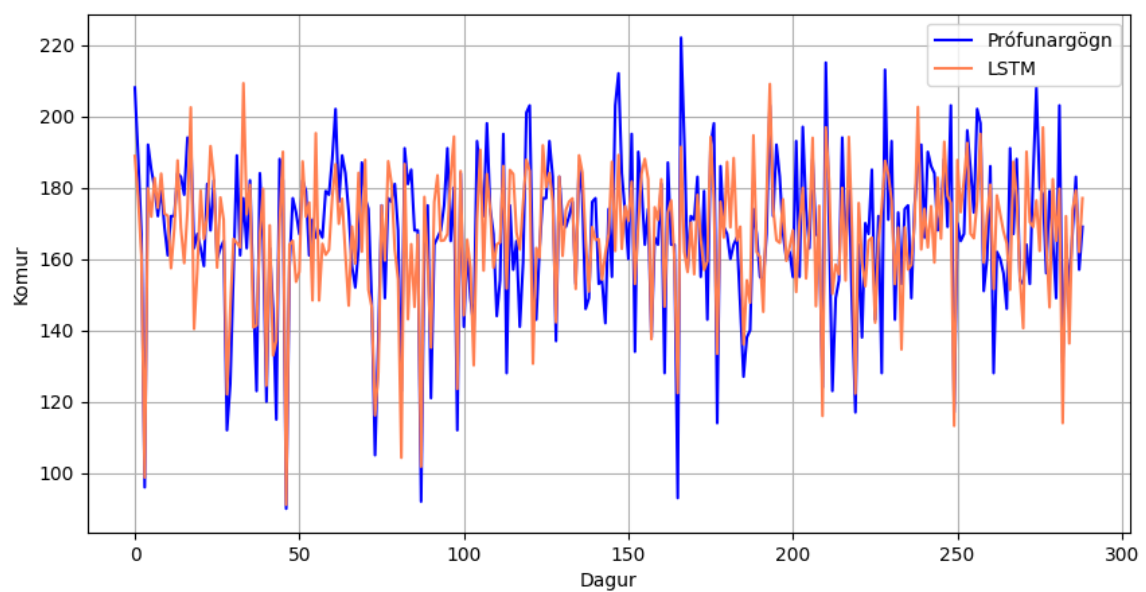
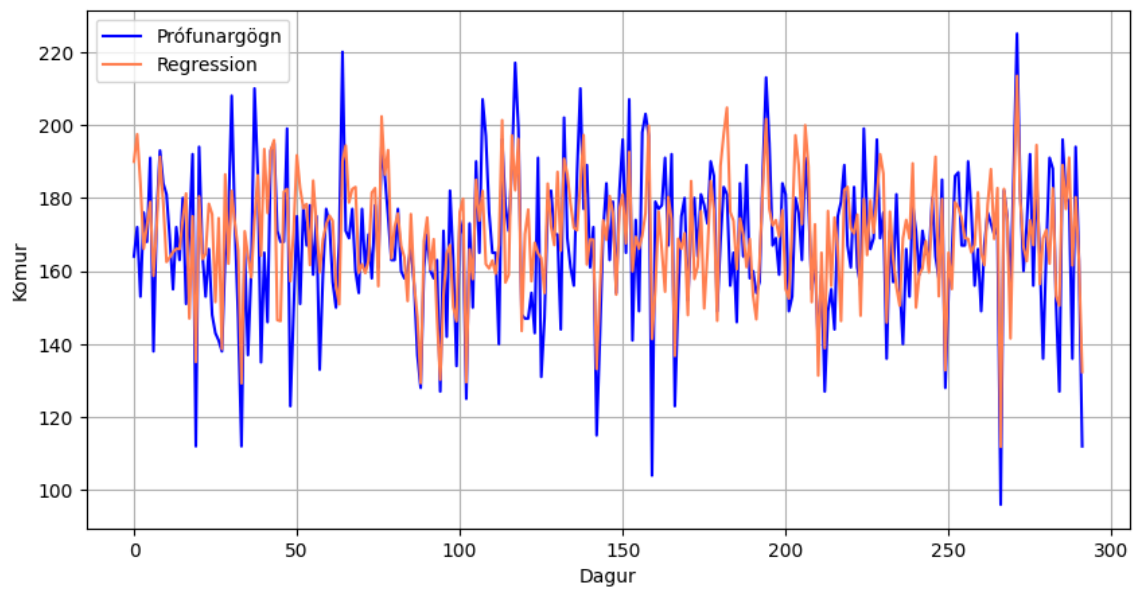
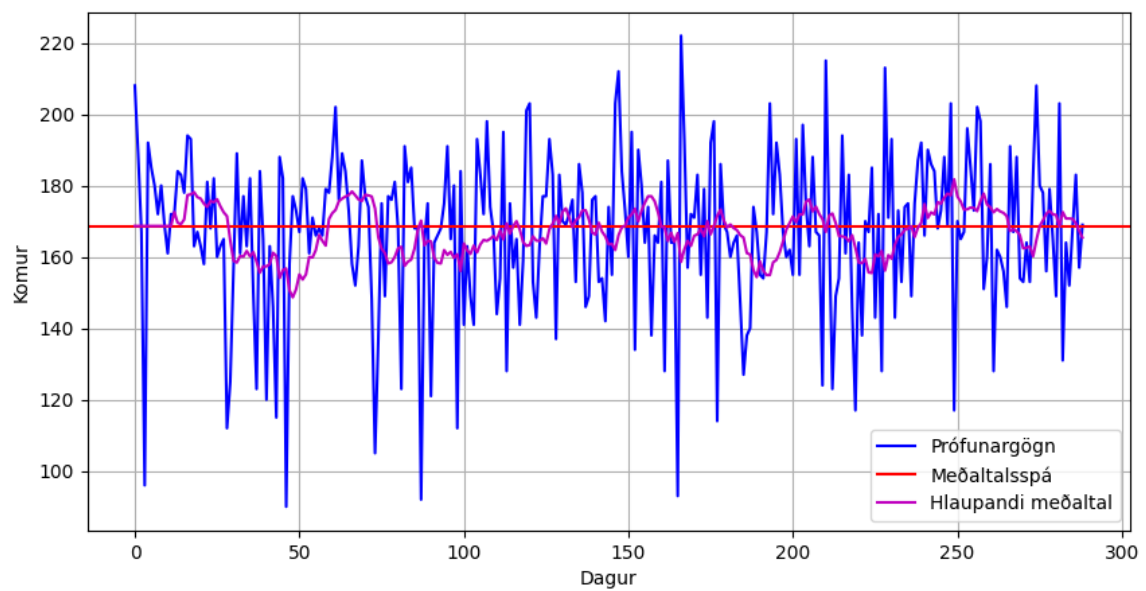
Mynd 6 sýnir þéttni afganganna í spá líkananna. Eins og MSE-gildin gáfu í skyn þá eru einföldustu líkönin tvö með frekar mörg frávik miðað við aðhvarfsgreininguna og LSMT.



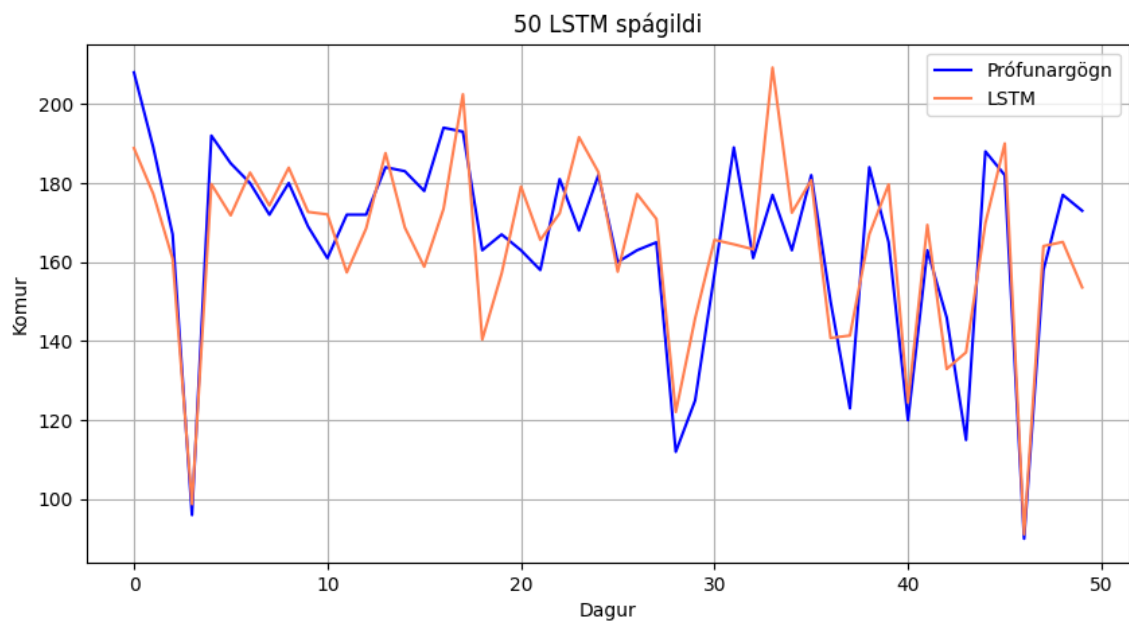
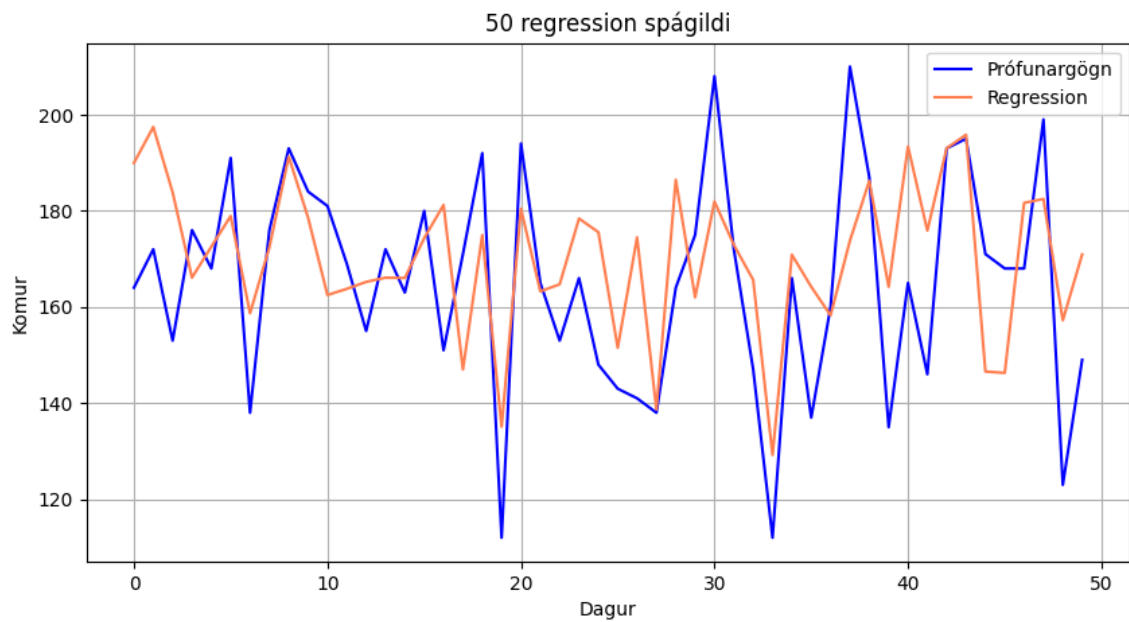
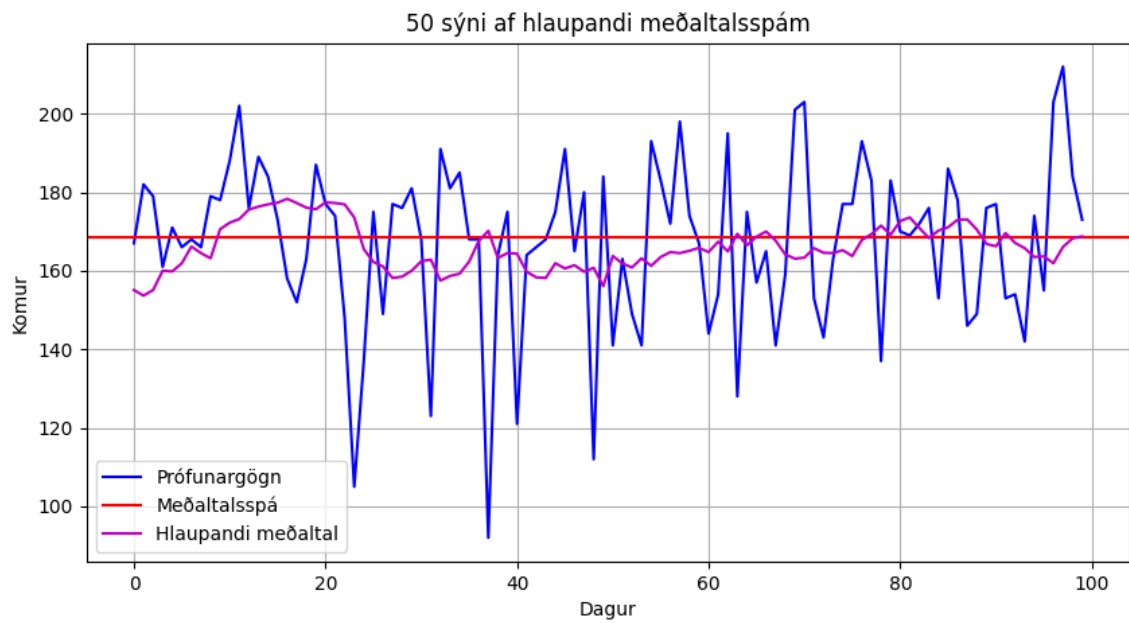
Mynd 6: Þéttni allra líkananna.



Mynd 7: Raunverulegur fjöldi koma á móti spáðum fjölda með línulegri aðhvarfsgreiningu (vinstri) og LSTM (hægri).



Mynd 8: Samanburður á raunverulegum fjölda koma og fjölda koma sem líkönin spá.



Mynd 9: Fimmtíu gildi af raunverulegum fjölda koma og spám.

5 Umfjöllun

Niðurstöðurnar sýna að líkönin sem voru útfærð eru mun betri en *baseline*-líkönin sem giska á meðaltal og hlaupandi meðaltal (sjá töflu 2). Það er athyglisvert að líkanið sem giskar alltaf á meðaltalið er betra en hlaupandi meðaltalslíkanið. Ekki var við þessu að búast þegar horft er á myndir 8 og 9. Ekki er eins mikill munur á línulegri aðhvarfsgreiningu og LSTM-líkaninu. Það síðarnefnda er örlítið betra en ekki munar miklu þar á. Þegar horft er á myndir 8 sést að LSTM-líkanið giskar nær réttum gildum þegar komur eru langt frá meðaltalinu en línulega aðhvarfsgreiningin. Þetta sést enn þá betur þegar myndir 9 eru skoðaðar en þar sést að LSTM-líkanið fylgir betur mynstri raunverulegu komanna. Bæði þessi módel voru að meðaltali að spá um 12,8 manns frá réttum fjölda sem eru ágætast niðurstöður en það er helmingur af MSE-gildi meðaltalslíkananna.

Niðurstöður þessa verkefnis komu okkur þó nokkuð á óvart þar sem líkönin virtust geta lært mynstur í gögnunum og fylgt því ágætlega. Með frekari þróun á LSTM-líkaninu og meiri gögnum er vel mögulegt að fá enn þá betri niðurstöðu. Yrði þá módelið orðið það nákvæmt að það gæti farið að gagnast heilbrigðisstarfsfólki á Bráðamóttökunni við skipulag og nýtingu mannaúds.

Heimildir

- [1] Aurélien Géron. *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems*. O'Reilly Media, Sebastopol, CA, 1st edition, 2017. ISBN 978-1491962299.
- [2] Árni Sæberg. *Löng bið á bráðamóttöku og þung staða á Landspítala*. Vísir, 2021. Sótt 14. apríl 2024 af <https://www.visir.is/g/20212139669d/long-bid-a-bradamottoku-og-thung-stada-a-landspitala>
- [3] *Mikið álag á bráðamóttökunni í Fossvogi*. MBL, 2023. Sótt 14. apríl 2024 af https://www.mbl.is/frettir/innlent/2023/11/11/mikid_alag_a_bradamottokunni_i_fossvogi/
- [4] Keras. *LSTM layer*. Keras, 2024. Sótt 15. apríl 2024 af https://keras.io/api/layers/recurrent_layers/lstm/
- [5] <https://hagstofa.is/talnaefni/atvinnuvegir/ferdathjonusta/farthegar/>